Schematicamente l'installazione meccanica di un impianto « rotary » risulta composta di:

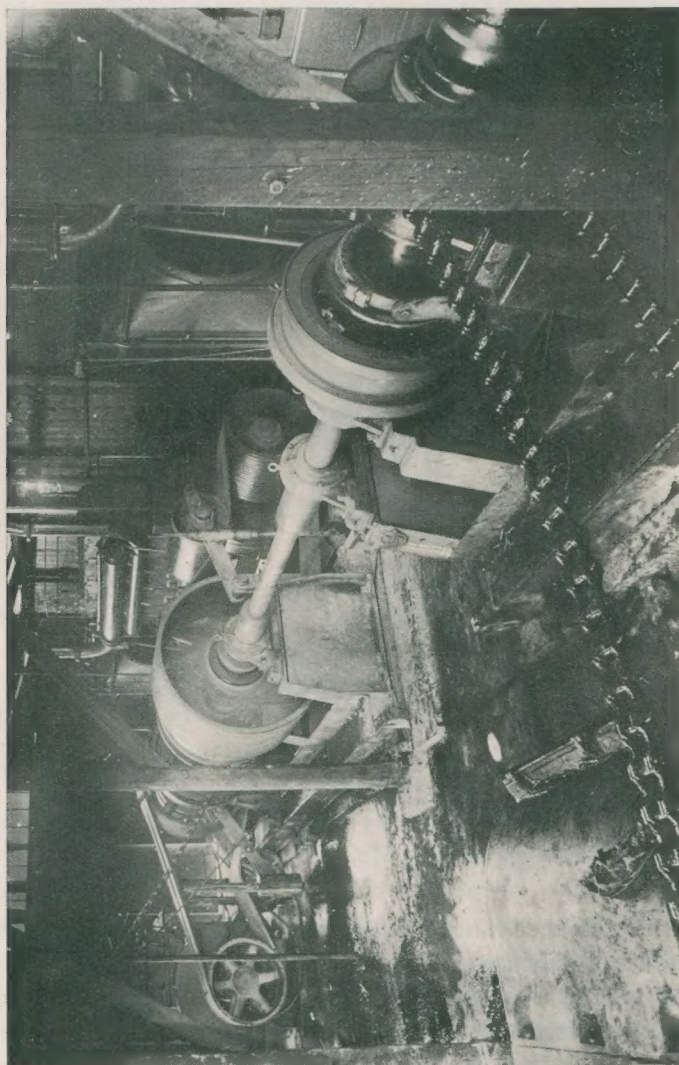



Fig. 2.

— 2 o più motori . { a olio pesante (tipo Diesel), o a gas,
elettrici,
a vapore;

— contralberi di trasmissione con inversione di marcia (v. fig. 2);

— argano di sollevamento, a due o tre alberi (v. fig. 3);
— pompe a doppio effetto per fanghi, fino a $7'' \frac{1}{4} \times 16''$;
— tavola di rotazione (v. fig. 3);
— torre di manovra di altezza variabile da 37 a 52 metri (v. fig. 4).

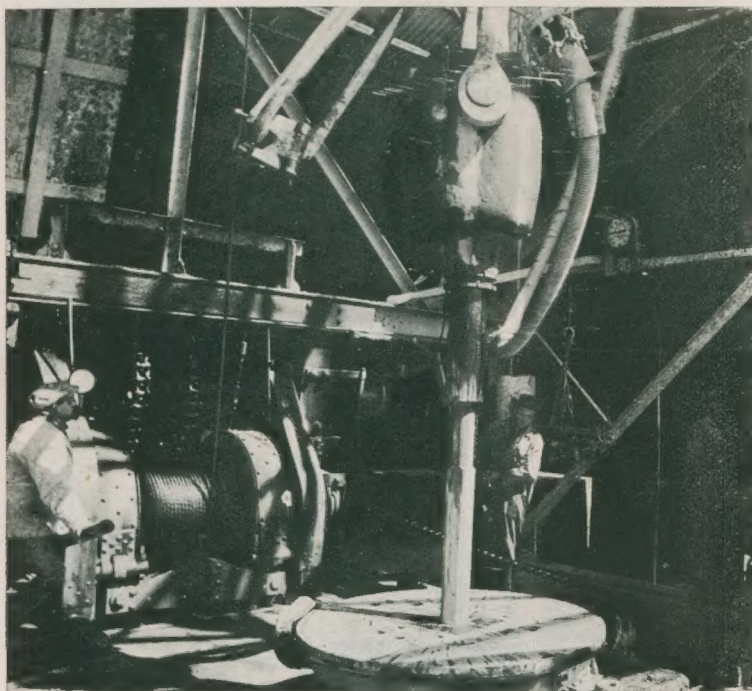



Fig. 3.

Dal punto di vista meccanico si considerano di tipo normale quelli in cui la regolazione del peso sullo scalpello, durante la perforazione, viene eseguita a mano sulle indicazioni di speciali dinamometri ed in relazione alla natura dei terreni da attraversare, ciò che richiede, da parte dell'operatore, una continua sorveglianza e, soprattutto, una particolare capacità, che può essere acquisita soltanto attraverso lunga esperienza.

Esistono, invece, tipi speciali, in cui la regolazione del peso sullo scalpello avviene automaticamente, a seconda della durezza dei terreni che si perforano, mediante speciali meccanismi a ruote coniche, del tipo differenziale, che riducono notevolmente gli sforzi anormali di torsione e di presso-flessione, che sono la principale causa della rottura delle aste di perforazione.

Nella fig. 5 è indicato lo schema di tali impianti: due motori elettrici M 1 e M 2 con rotazione di senso contrario comandano rispettivamente le ruote dentate A e B collegate ad un gruppo differenziale P.

Fig. 4.

Quando le velocità dei motori sono eguali, le ruote dentate A e B, che ruotano in senso contrario, acquistano velocità diverse ed il differenziale viene posto in movimento con un senso di rotazione eguale a quello della ruota A o B che ha la velocità maggiore

e che è eguale alla metà della differenza tra le velocità delle due ruote dentate *A*, *B*.

Il gruppo differenziale è collegato con il tamburo di manovra con trasmissioni a velocità diverse, in modo tale che quando predomina l'azione del motore *M* 1 il tamburo è costretto a ruotare nel senso della discesa della batteria di perforazione.

IMPIANTO «ROTARY» A DIFFERENZIALE

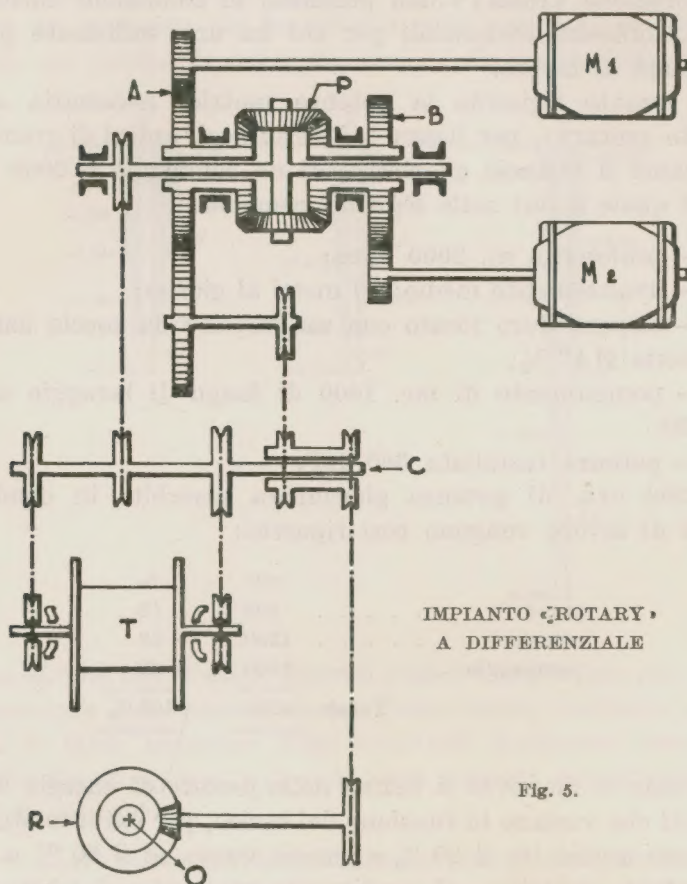



Fig. 5.

Il motore *M* 2, siccome ha una velocità di senso contrario all'altro, ha invece la tendenza a sollevarlo.

Quando durante la perforazione lo scalpello incontra una formazione di terreno duro, si ha un sovraccarico al motore *M* 1, per cui la sua velocità diminuisce in proporzione della durezza della roccia. Ma siccome viene poi a predominare la velocità di *M* 2, la batteria di perforazione viene sollevata dal fondo fino a quando lo sforzo consente ai due motori di raggiungere eguale velocità.

In altri termini, lo sforzo torcente sulla batteria non può sorpassare un certo valore massimo, compatibile con la resistenza delle aste di perforazione, evitando in tal modo complicate e pericolose rotture, che possono talora pregiudicare l'esecuzione finale della trivellazione.

Nell'esecuzione di pozzi profondi, e cioè sino ai 2000 metri, la perforazione «rotary» non presenta, in condizioni normali di terreno, difficoltà sostanziali per chi ha una sufficiente pratica del sistema di lavoro.

Per quanto riguarda la potenza motrice necessaria ad un impianto «rotary», per fissare le idee su degli ordini di grandezza, esaminiamo il bilancio energetico di un sondaggio a 2000 metri circa, il quale lavori nelle seguenti condizioni:

— profondità m. 2000 circa;

— avanzamento medio: 10 metri al giorno;

— terreno duro forato con un trapano da roccia azionato da batteria Ø 4" ½;

— pompamento di mc. 1000 di fango di lavaggio a densità 1,30;

— potenza installata 360 HP.

I 4200 cvh. di potenza giornaliera assorbita in condizioni normali di lavoro vengono così ripartiti:

	cvh.	%
manovre	500	12
rotazione	1200	28
pompaggio	2500	60
Totale	4200	100 %

Durante le manovre si hanno delle perdite di energia dovute ad attriti che variano in funzione del carico, per cui il rendimento meccanico oscilla tra il 20 % a gancio vuoto ed il 60 % a pieno carico. Nella rotazione, il rendimento meccanico è molto basso ed è dell'ordine del 10 % ÷ 20 %, a seconda della velocità angolare della tavola, la quale può variare da 40 giri a 120 giri.

Le pompe di lavaggio, nelle condizioni di lavoro esaminate, assorbono circa 150 CV. con una potenza utilizzata di 100 CV., al che corrisponde un rendimento totale del 66 %. La portata che conviene dare al lavaggio è dell'ordine di circa 900 lt. al 1'.

La pressione di pompamento dipende dal diametro interno delle aste e dei giunti, dalla profondità, dalla intercapedine tra la batteria e le pareti del foro non che dalla viscosità del liquido pompato.

Oltre i 2000 metri le difficoltà nella perforazione non crescono più proporzionalmente con la profondità, ma le elevate sollecitazioni degli organi meccanici dell'impianto, sia di quelli in superficie sia di quelli in lavoro nel pozzo, nonchè le crescenti difficoltà di carattere geologico, impongono l'impiego di molti accorgimenti tecnici e l'uso di materiali speciali.

Uno dei problemi più importanti nella perforazione dei pozzi è quello del profilo di tubaggio, ossia della scelta della serie di

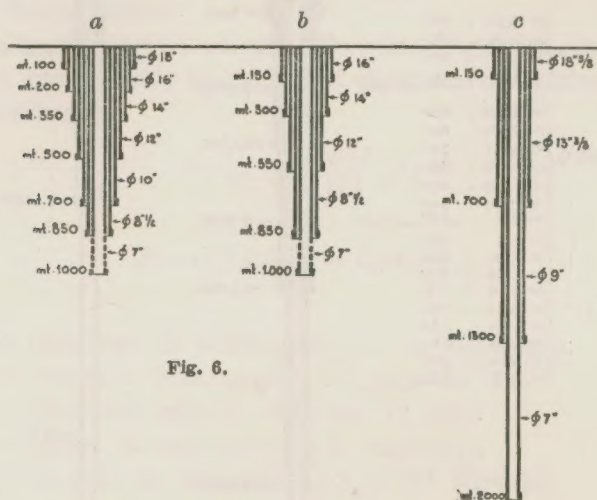



Fig. 6.

colonne di tubi con le quali occorre armare il pozzo, sia per evitare il franamento delle pareti, sia per poter isolare mediante cementazioni le falde acquifere dagli eventuali giacimenti petroliferi.

Nelle figg. 6 (*a*, *b*, *c*) e (7 *a*, *b*) sono indicati rispettivamente i profili di tubaggio:

— di un pozzo perforato a percussione a secco, da m. 1000;

— di un pozzo perforato a percussione con fango, da m. 1000;

— di un pozzo perforato con sistema «rotary», da m. 2000;

— di un pozzo, in corso di perforazione, «rotary», da m. 3000 ed oltre;

— di un pozzo perforato con sistema «rotary» sino a m. 4500.

Il problema presenta serie difficoltà, specialmente nel caso di pozzi profondissimi oltre 3000 metri, dal punto di vista della resistenza dei tubi, essendo questi sollecitati allo schiacciamento dalle pressioni esterne dei fluidi, che raggiungono valori notevoli, dell'ordine di parecchie centinaia di atmosfere; pressioni deter-

minate soprattutto dall'altezza dei livelli idrostatici che si trovano alle spalle delle colonne e dalla densità dei liquidi.

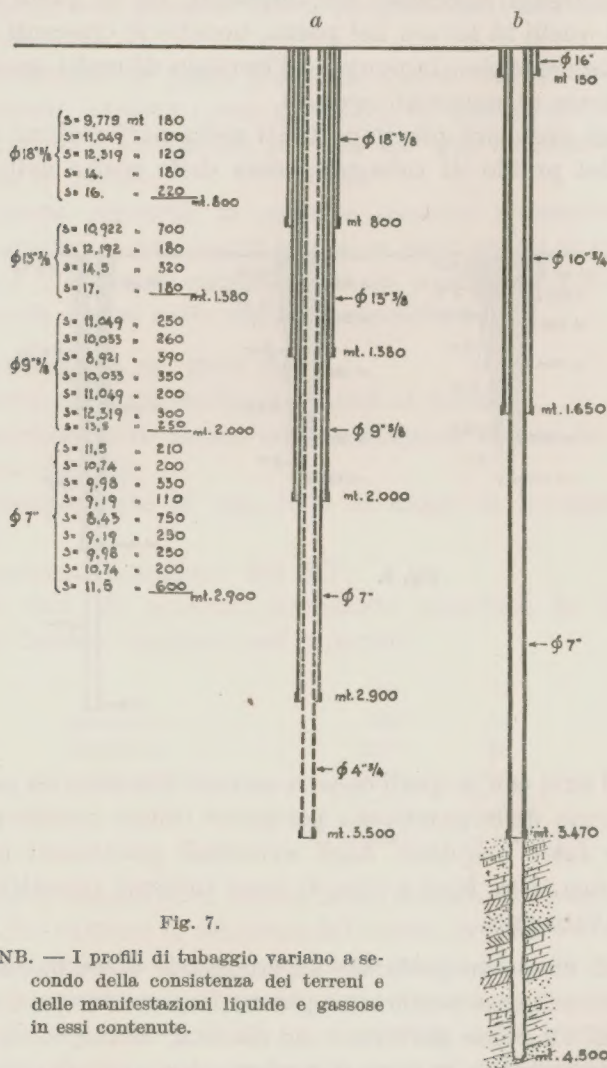



Fig. 7.

NB. — I profili di tubaggio variano a seconda della consistenza dei terreni e delle manifestazioni liquide e gassose in essi contenute.

I tubi sono costituiti di acciaio, senza saldatura, con caratteristiche varie:

— *acciaio, denominato di grado C:*

con carico di snervamento = 31,6 Kg/mmq.
» » » rottura = 52,5 Kg/mmq.
allungamento su barretta $l = 5d \geq 20\ \%$;

— *acciaio, denominato di grado D:*

con carico di snervamento = 38,6 Kg/mmq.
» » » rottura = 66,8 Kg/mmq.
allungamento su barretta $l = 5d \geqq 18$ %.

Nella calcolazione delle colonne dei tubi di rivestimento si tiene conto, oltre che della sollecitazione allo schiacciamento dovuto alle pressioni esterne dei fluidi, anche della trazione dovuta al peso proprio, a cui è sollecitata la colonna di tubi durante l'operazione d'introduzione.

Normalmente, per il calcolo allo schiacciamento, si adoperano le seguenti due formule sperimentali elaborate dalla Mannesmann-Rohren-Werke:

$$Pc = 2E\left(\frac{s}{D}\right)^3 \quad (*) \tag{1}$$

$$Pc = \left(2{,}63\frac{s}{D} - 0{,}043\right)\sigma_s . \tag{2}$$

Pc = pressione di schiacciamento in Kg/cmq.;
s = spessore della parete del tubo in cm.
D = diametro esterno del tubo in cm.;
σ_s = carico di snervamento in Kg/cmq.;
E = modulo di elasticità = 2×10^6 Kg/cmq.

La pressione critica da prendere in considerazione è la minore fra le due ottenute dall'impiego delle formule 1) e 2).

Per determinare poi la profondità massima alla quale il tubo può essere immesso si adopera la formula:

$$T = \frac{Pc \times 10}{N \times Y} .$$

T = profondità in metri;
Pc = pressione critica in Kg/cmq.;
N = coefficiente di sicurezza;
Y = peso specifico del fluido che determina la pressione.

Dagli studi e dalle esperienze sinora fatte risulta che, per valori del rapporto $\frac{s}{D}$ maggiori di 30 ÷ 40, la pressione critica è fun-

(*) La (1) è la formola della teoria dell'elasticità che dà la pressione esterna, per la quale un tubo infinitamente lungo si schiaccia.

zione soltanto del modulo di elasticità; per valori invece minori, la pressione critica è funzione del carico di snervamento alla compressione. Di conseguenza, nel primo caso nessun vantaggio si avrebbe con l'impiego di acciai ad elevato carico di snervamento, mentre nel secondo caso, che è quello che interessa maggiormente l'industria petrolifera, un aumento del carico di snervamento consente, a parità di sicurezza, di aumentare la profondità di posa del tubo o di diminuirne lo spessore.

Pertanto, l'industria americana, per evitare l'impiego costoso di leghe speciali, si è interessata della possibilità di aumentare il carico di snervamento, sia in direzione normale alle generatrici del tubo per ottenere maggiore resistenza allo schiacciamento, sia in direzione parallela alle generatrici per ottenere una maggiore resistenza alla trazione.

Tale possibilità sarebbe stata realizzata dalla Società Americana «Smith Corporation di Milwauke», mediante trattamenti meccanici, a freddo, consistenti nella compressione dei tubi tra rulli o stampi.

Da prove sperimentali, eseguite in proposito su campioni ricavati da uno stesso tubo, prima e dopo il trattamento a freddo, è risultato che il carico di snervamento a compressione è salito da 46,40 Kg/mmq. a 64 Kg/mmq., con un aumento, cioè, del 38 %; mentre il carico di snervamento a trazione, in direzione parallela all'asse del tubo, è salito da 45 Kg/mmq. ad un minimo di 52,5 Kg/mmq., con un aumento, cioè, del 17 %.

Non si ha, però, alcuna notizia sull'impiego di detti tubi.

Tra le operazioni più importanti e più delicate della tecnica della perforazione del sottosuolo a grandissima profondità merita di essere citata quella della cementazione, avente lo scopo di impedire l'inondazione, da parte delle falde acquifere, dei giacimenti petroliferi.

Essa consiste nel creare fra le spalle dell'ultima colonna di rivestimento e le pareti del pozzo un anello continuo di cemento capace di tamponare ermeticamente le falde acquifere, impedendo ad esse di spostarsi verso i sottostanti terreni che successivamente verranno perforati.

Non possiamo soffermarci su tale argomento per non uscire di tema.

Ci limitiamo a dare qualche dato per dimostrare l'importanza dell'operazione.

In un pozzo eseguito dall'AGIP è stata fatta la cementazione di una colonna del diametro nominale di $9''^{5}/_{8}$, del peso di 131 Tonnellate circa, alla profondità di m. 2039, impiegando 70 Tonnellate di cemento, tipo 450, sotto forma di malta di densità = 1,8

che è stata iniettata mediante l'impiego di due pompe da 7" ¼ × 16", raggiungendo la pressione massima di 85 atmosfere.

Lo scopo di questa cementazione, completamente raggiunto, è stato quello di chiudere una falda acquifera risaliente della portata oraria di 27 metri cubi, della densità media di 16° Beaumè, con un carico di 234 Kg/cmq.

L'operazione d'introduzione nel pozzo della colonna, costituita di tubi della lunghezza media di m. 8, è durata 14 ore, quella invece di pompamento della malta di cemento alle spalle della colonna stessa è durata 3 ore.

Numerose altre importanti questioni di ordine meccanico e chimico si presentano nella perforazione dei pozzi profondi di ricerca petrolifera.

Chiudiamo questo rapido sguardo, accennando al problema del trattamento dei fanghi di circolazione, da cui, in gran parte, dipende la possibilità di raggiungere le grandissime profondità.

Nelle perforazioni «rotary» il fango è costituito di acqua, di sostanze colloidali, gelatinose e non, e di particelle più grandi tenute in sospensione nel mezzo colloidale.

Un buon fango di circolazione deve presentare varie caratteristiche, tra cui:

— una densità sufficiente per equilibrare le pressioni di strato, evitando eruzioni;

— una viscosità statica sufficiente a mantenere in sospensione i detriti di perforazione durante l'arresto della circolazione del fango, per evitare incidenti;

— una viscosità dinamica bassa in modo da consentire il deposito dei detriti col diminuire della sua velocità nelle vasche di decantazione;

— una viscosità piuttosto bassa al fine di diminuire gli attriti nei riguardi del pompamento.

Notevoli sono, quindi, le qualità richieste dai fanghi di circolazione e che si possono realizzare con l'impiego di reagenti chimici.

Il trattamento chimico dei fanghi varia, però, con la natura dei fanghi stessi. Così, ad esempio:

— in un fango neutro l'aggiunta di una piccola quantità di silicato di sodio diminuisce la viscosità, mentre in un fango a reazione acida lo aumenta;

— una massa compatta di fango argilloso può essere resa fluida con l'aggiunta di un po' di idrato o carbonato di sodio e può essere poi solidificata con l'aggiunta di un po' di acido;

— in un fango costituito di argille rigonfianti come le bentonitiche, trattate con una miscela di alluminato di sodio, aumenta fortemente la viscosità; ciò che invece non accade con argille non rigonfianti.

Le principali determinazioni da compiere sui fanghi sono dunque: la viscosità; il peso specifico; il potere filtrante; il « pH ».

Mentre le prime due vengono normalmente eseguite dal personale di cantiere, le altre vengono affidate al laboratorio.

Da questo succinto esposto appare evidente la notevole importanza che ha il controllo dei fanghi, operazione che deve essere continua ed accurata.

Il tema richiedeva un vasto sviluppo: ho dovuto, contenerlo in limiti ristrettissimi e trattare gli argomenti che maggiormente caratterizzano l'arte del sondaggio.

Dopo quanto sopra esposto in merito a taluni problemi che interessano la tecnica delle perforazioni, non posso fare a meno di ricordare che l'attività svolta dall'AGIP, per conto dello Stato, nel campo delle Ricerche Petrolifere, se non ha finora portato alla determinazione di effettivi giacimenti petroliferi di importanza industriale ha, peraltro, condotto alla raccolta di elementi geopetroliferi di grande interesse che permettono di inquadrare e definire i termini del problema delle ricerche.

Sulle difficoltà di ordine geologico, ha già riferito il Prof. Gortani, del Comitato di Consulenza dell'AGIP. Io mi limito ad aggiungere che anche nel campo tecnico della perforazione, si prospettano, per la natura dei terreni da attraversare, difficoltà che non hanno riscontro in altri paesi petroliferi.

L'AGIP oggi ha raggiunto un elevato grado di perfezione con la sua organizzazione sia nel campo scientifico che in quello tecnico; nel primo avvalendosi di un organo di consulenza costituito da eminenti scienziati, nel secondo portando la propria attrezzatura geofisica e di perforazione all'altezza di quella dei più progrediti paesi del mondo.

Per tali ragioni si può con sicura fede sperare che, ove nel sottosuolo del Regno esistano giacimenti petroliferi, questi non potranno sfuggire alla nostra indagine.

ALDO BIBOLINI

DIRETTORE DEL R. POLITECNICO DI TORINO

L'epurazione dei combustibili fossili.

Criteri odierni e loro applicabilità ai carboni Italiani.

(Con 5 tavole).

RIASSUNTO. — *Esposti i concetti fondamentali dai quali sono guidati gli odierni criterî di epurazione dei combustibili fossili e posta in rilievo la loro importanza scientifica e tecnica, l'A. ne discute la applicabilità al trattamento dei principali carboni italiani.*

Si richiama, per questo, ai risultati tratti dai suoi precedenti studi sulle antraciti alpine onde illustrare, coordinatamente, le successive sue ricerche sulle ligniti Sarde ed Istriane.

A seguito della definizione petrografica in luce riflessa polarizzata di tali combustibili fossili, riporta i dati ottenuti mediante numerose prove di epurazione, densimetriche e fluttuative, effettuate nel Laboratorio di Arte Mineraria del R. Politecnico di Torino, e raffronta fra loro i risultati così conseguiti coi procedimenti di fluttuazione integrale e di fluttuazione differenziale, fornendo altresì gli schemi diagrammatici delle disposizioni sperimentali, idonei anche alla attuazione industriale dei procedimenti medesimi.

PARTE I.

I nuovi criteri.

Il problema industriale dell'epurazione dei carboni è andato in questi ultimi anni crescendo d'importanza ed evolvendosi, man mano che lo sviluppo dell'abbattimento meccanico in cantiere e la messa in valore di giacimenti sempre meno pregiati, tendevano ad aumentare la parte sterile del prodotto di miniera, mentre, estendendosi il campo di utilizzazione dei combustibili fossili medesimi, venivano richieste, per le loro qualità mercantili, sempre più rigorose condizioni di purezza (1).

---

(1) Ch. BERTHELOT, *Épuration, séchage, agglomération et broyage des charbons.* Ed. Dunod, Paris, 1938.

A tale evoluzione hanno essenzialmente concorso, sia lo sviluppo delle conoscenze scientifiche sulla genesi e sulla costituzione dei ripetuti combustibili, che l'applicazione tecnica di princìpi fisici e fisico-chimici, progressivamente riconosciuti meglio idonei a separare industrialmente fra loro, i diversi addendi del minerale estratto.

Perciò possono essere pensati correlativamente interdipendenti: i nuovi orientamenti proposti pei metodi di analisi e di prova dei carboni; il crescente sviluppo assunto dalle connesse ricerche petrografiche; infine gli studi sulla utilizzazione delle proprietà differenziatrici dei costituenti il combustibile stesso.

Analisi e prove specifiche. — Per quel che ha attinenza al primo dei tre punti indicati, ci limiteremo a ricordare che i proposti nuovi metodi ([2]), si differenziano anzitutto da quelli prevalentemente in uso, in quanto essi tendono a dosare nel carbone, oltre alle materie minerali, le cosiddette « impurità organiche » prima non specificamente indicate.

È appunto la ricerca petrografica che ne localizza, con discreta facilità l'origine ma, pur riuscendo a valutare, mediante il laborioso uso degli apparecchi di integrazione applicabili al microscopio, i componenti del combustibile che le contengono, non è ancora in grado di fornire al riguardo, in modo rapido e da sola, esatti dati ponderali.

A questo tendono tuttavia coordinatamente, tanto speciali mezzi meccanici (ad es. il mulino Lehmann ([3]) ed il mulino sperimentale dovuto a chi scrive ([4])) quanto peculiari procedimenti (secondo Heathcoat) ([5]).

Inoltre, nei riguardi della più completa conoscenza della residuante parte pura del carbone, i metodi analitici stessi si prefiggono di stabilire, insieme ai dati ottenibili dalla ordinaria « analisi chimica elementare » ([6]):

— il diagramma della fusibilità del carbone e quello della velocità di sviluppo dei gas prodotti, in funzione della temperatura

---

([2]) P. Erculisse, *Évolution des méthodes d'analyses et d'essais de la houille.* « Rev. Un. Mines », Janvier 1939.

([3]) E. Stach, *Lehrbuch der Kohlenpetrographie.* Ed. Borntraeger, Berlin, 1935, pag. 173 e seg.

([4]) A. Bibolini, Brevetto Italiano n. 371923.

([5]) Heathcoat, *The estimation of Fusain.* « Fuel », oct. 1930.

([6]) Ter Meulen et Heslinga, *Nouvelles méthodes d'analyse chimique organique.* Ed. Dunod, Paris, 1927.

alla quale il carbone stesso viene sottoposto ed a ciò servono in modo soddisfacente: per l'ottenimento del primo di essi, il dilatometro Audibert-Delmas [7] ed il plastometro Giessler-Davis [8]; pel secondo invece, la storta di Fischer [9];

— il tenore in bitumi, che è ritenuto, con sufficiente esattezza, proporzionale alla quantità di non fenoli del catrame primario, ottenibile con la storta di Fischer;

— il rapporto del tenore stesso, al tenore in humine;

— ed infine, con metodi approssimati di confronto [10], il potere agglutinante del carbone, che interessa la fabbricazione del coke.

Diagnosi strutturale e connesse determinazioni. — Come si è già rilevato, la tecnica petrografica dei carboni ha fatto progressi tali da permettere oggidì correntemente la determinazione della loro struttura, soprattutto con l'uso della luce riflessa polarizzata [11].

Tale diagnosi, serve ad apprezzare le peculiarità qualitative strutturali ed anche i rapporti quantitativi come anzi è detto, inerenti alla presenza dei tre costituenti fondamentali del carbone e cioè, notoriamente:

la *vitrite* o carbone lucente, che è ritenuta proveniente dall'alterazione dei tessuti cellulari delle piante, per impregnazione di sostanze humiche;

la *durite* o carbone opaco, che è formato da un miscuglio, in proporzioni ponderali assai varie, di vitrite con minuti residui fossili di organismi vegetali (ed eccezionalmente anche animali) detti, in sintesi, « corpi figurati »;

la *fusite* o carbone fibroso, resultante dall'adunamento occasionale di residui di strutture legnose, carbonizzate verosimilmente, per azione termica (secondo la cosiddetta Waldbrandtheorie) [12].

Di questi tre costituenti, la fusite è quasi sempre assai meno diffusa dei due altri, mentre spesso predomina la durite, non raro

---

(7) Audibert et Delmas, *Dilatometre*, « Rev. Un. Mines », Janvier 1937.

(8) C. Gessler, *Plastometer*. « Glückauf », a. 1934, pag. 178.

(9) H. Fischer, *Entstehung und Chemische Struktur der Kohle*. Ed. Gerardet, Essen, 1922.

(10) Swietolawsky, « Fuel », July 1937.

(11) A. Bibolini e A. Giordana, *Contributo alla conoscenza delle antraciti alpine, ecc.*, « Atti Reale Acc. Scienze, », Torino, Vol. 69, a. 1934.

(12) v. E. Stach, *Loc. cit.*, pag. 205.

essendo il caso di carboni completamente duritici e, nel complesso, i tre addendi si presentano commisti in adunamenti più o meno lenticolari, che nei tipi zonati sono associati stratoidalmente.

Ad ogni modo, l'aspetto microscopico dell'assieme, non dà il minimo appoggio alla teoria, da taluni Autori prospettata, di una loro separazione post-genetica, mentre invece addimostra chiaramente che le parti strutturali sopra elencate, sono state formate nella originaria disposizione dei corpi organici sedimentati ([13]).

Giova però avvertire, che le distinzioni suesposte si caratterizzano assai meglio nei carboni antichi (quali ad es. le antraciti alpine) che non in quelli giovani (come sono le ligniti sarde ed istriane).

Dal punto di vista chimico la vitrite è il più puro dei costituenti e può essere considerata come un gel, nel quale la materia dispersa resulta costituita da humine o ulmine, provenienti dalla trasformazione della lignina dei vegetali, mentre i bitumi, derivanti dalla trasformazione delle resine e delle sostanze grasse, costituiscono la fase disperdente, che funziona da colloide protettivo alle micelle delle humine stesse ([14]).

Nella durite soprattutto, i residui fossili frammisti alla vitrite, apportano le ricordate « impurità organiche » le quali, come anzi è detto, debbono fare oggetto di particolare considerazione, in una epurazione spinta che non si limiti al prelevamento delle sole impurità minerali.

Così pure, abbondanti impurità organiche presenta, per la sua stessa origine, la fusite, la quale risulta infatti il termine caratteristicamente da asportare, nella concentrazione o arricchimento dei carboni.

Finalmente, in connessione con la loro genesi, anche le proprietà fisiche e le proprietà fisico-chimiche dei costituenti medesimi, diversificano fra loro in maggiore o minor grado. Infatti, dalle numerose determinazioni di peso specifico sinora effettuate, essa densità risulta: per la vitrite, compresa fra 1,260 e 1,394 cioè nettamente inferiore a 1,5, mentre quella della fusite supera questo valore; la durite occupa invece, come per ogni altro suo carattere, un posto intermedio, rimanendo la densità compresa fra 1,210 e 1,689 mentre pei commisti « corpi figurati », detto peso si mantiene fra 1,20 e 1,28.

([13]) v. E. Stach, *Loc. cit.*, pag. 163 e seg.
([14]) v. P. Erculisse, *Loc. cit.*

Analogo è il comportamento dei prefati costituenti, nei riguardi del tenore in ceneri, il quale è minimo nella vitrite più pura (lo si ritiene anche inferiore all'1%) e massimo nella fusite (fino a più del 30%) ([15]).

Ed altra diversità apprezzabile è quella presentata dalla tenacità, la quale è minima per la fusite e massima per la durite, cosicchè, mentre per la sua maggiore friabilità la fusite tende già ad andare in polvere fine nello stesso abbattimento del fossile in miniera, la normale macinazione di un carbone prevalentemente costituito da durite e vitrite, dimostra che questa si arricchisce nelle classi granulari più minute, in quanto va in particelle più piccole di quelle nelle quali tende a suddividersi la durite.

Poichè il fenomeno si accentua se la macinazione vien fatta con particolari artifizi (quali ad es. quelli meccanici indicati nelle note ([3]) e ([4])) si ritiene che la friabilità stessa possa esser posta a profitto, onde facilitare la preliminare epurazione in tal senso dei carboni, per il successivo ottenimento dei prodotti più puri.

Infine, non meno interessanti sono le differenze fisico-chimiche nel loro comportamento fluttuativo.

L'abbondante presenza nella vitrite di composti spiccatamente liofili di tipo humico, conferisce a questa uno scarso potere fluttuativo ([16]) mentre per la fusite, tale potere è assai efficiente, appunto in relazione alla scarsità dei composti ora detti.

La durite invece si comporta, anche da tal punto di vista, in modo vario, per la stessa varietà della sua composizione, cosicchè in un trattamento di fluttuazione, essa tende ad inquinare in opposti sensi il prodotto vitritico ed il prodotto fusitico. Di qui la prospettata opportunità di asportare prima, meccanicamente, quanto più si può di parti vitritiche e fusitiche, con gli artifizi di macinazione anzi esposti e di spingere la macinazione della durite poi, fino al massimo grado di liberazione dei corpi figurati, cònsono con la non colloidalità delle sospensioni acquose.

Conviene però anche qui ripetere, che ad un siffatto schema fluttuativo, rispondono diversamente carboni di età diverse, cosicchè mentre per le ligniti, intese come combustibili fossili, meno metamorfici ed in generale più recenti, ad ostacolare la fluttua-

---

([15]) Possono esser qui ricordati i resultati delle determinazioni effettuate sulle antraciti di La Thuile, che dettero per la vitrite il 5,22% e per la fusite il 14,63% di ceneri. (V. Bibolini e Giordana, *Loc. cit.*, pag. 16).

([16]) Bierbrauer u. Popperle, *Selektive flotation der Kohlen auf chemischen Grundlage*, « Glückauf », 70 Jahr. N. 41, okt. 1934.

zione della vitrite, si ritiene sufficiente il suo maggior contenuto in acidi humici, pei litantraci, intesi come carboni più antichi, onde provocare un analogo fenomeno, occorre il preliminare intervento, in ambiente alcalino, di idonei reattivi ossidanti ([17]).

Perciò lo schiumeggiamento differenziale richiede, per i combustibili antichi, e in generale non per quelli giovani, la iniziale depressione della vitrite mediante ossidazione e per gli uni come per gli altri, esso si effettua determinando dapprima lo schiumeggiamento della fusite in ambiente alcalino (mediante eventuale aggiunta di fenolo nella torbida), poscia quello della vitrite e della durite (per successive addizioni di fenolo o di olio di catrame e di olio di pino) mentre rimane come rifiuto lo sterile, vuoi minerale, vuoi anche organico.

Utilizzazione delle proprietà differenziatrici. — Le nuove attuazioni tecnico-industriali sono andate man mano adeguandosi ai risultati delle anziesposte determinazioni, ma, come è evidente, il loro sviluppo è subordinato ai requisiti dei connessi problemi economici. Fino ad oggi, le difficoltà che incontra il mercato dei combustibili, pel collocamento dei carboni pulverulenti, fanno sì che l'industria carbonifera tenda ad evitare quanto più è possibile la formazione di prodotti fini o schlamms. Ha quindi tuttora predominante importanza l'arricchimento dei carboni in pezzi o « grani », al raggiungimento del quale servono soltanto i metodi gravimetrici e quelli densimetrici (il cui perfezionamento è perciò di persistente attualità) e poichè l'epurazione per fluttuazione non si è ancora estesa (salvo rari casi) a prodotti provenienti da apposita macinazione, la fluttuazione stessa, resta limitata alla parte di prodotto pulverulento, che viene inevitabilmente a formarsi, nella elaborazione anzi accennata del combustibile.

Così, un moderno impianto di arricchimento, disposto per trarre profitto della totalità della produzione di miniera, consta oggidì dal coordinamento delle due installazioni anzidette, a differenza di quanto era pressochè norma nel passato (e lo è per taluni centri industriali tuttora) in cui gli schlamms erano considerati materiale da gettarsi più o meno totalmente a rifiuto. L'arricchimento più spinto, tendente cioè all'ottenimento del « carbone puro » è da intendersi riservato agli impieghi più pregiati del carbone quali: la fabbricazione degli elettrodi; l'alimentazione diretta

---

([17]) F. L. KÜHLWEIN, *Fusitabscheidung durch selektive Flotation*, « Glückauf », 70 Jahr., N. 11 e 12, März 1934.

dei motori Diesel (tipo Rupa) e quella dei gasogeni delle automotrici; le sospensioni colloidali del carbone, vuoi anche la sua soluzione in olio antracenico e naftolico; prodotti tutti che consentono, col maggior prezzo di vendita, la maggior spesa di trattamento, dovuta in notevole parte alla connessa macinazione.

Ma una idonea epurazione, seppure non altrettanto avanzata, è anche favorevole all'impiego del combustibile (dipendentemente dalla sua composizione) per la fabbricazione del coke e per l'idrogenazione, mentre essa resulta pure utile ad applicazioni di importanza non altrettanto grande, quali sono quelle: della distillazione a bassa pressione e della fabbricazione degli agglomerati coll'impiego di alte pressioni.

Nello stato attuale delle applicazioni, l'ottenimento del « carbone puro » può dirsi ancora in fase di esperimento semi-industriale, mentre invece sono in atto procedimenti di fluttuazione differenziale, per la produzione di carbone da coke o da super-coke (ad es. nella Bassa Slesia, in Sassonia, nei Bacini d'Aquisgrana e della Sarre).

Ai metodi di epurazione del carbone, adatti al trattamento dei cosiddetti « grani » sfuggono soltanto le particelle di grossezza inferiore ad un mm. circa, le quali sono infatti riservate alla fluttuazione, mentre pei grani medesimi viene sfruttato il fenomeno fisico della differenza del loro comportamento nella caduta entro un mezzo resistente, corrispondentemente a loro diversità di grossezza e di peso specifico. Deve però esser accennato anche alla utilizzazione, recentemente accolta, della differenza di resistenza elettrica fra pezzi di carbone e pezzi di sterile, od anche fra pezzi di carbone diversamente impuri, quando, previa calibratura, essi siano sottoposti ad una stessa differenza di potenziale ([18]).

Detti dispositivi hanno però avuto finora esclusiva applicazione in sostituzione della cernita fatta normalmente a mano sul grosso di miniera, dimostrandosi in tal modo applicabili soltanto a calibrature su griglia da 50 a 500 mm. di luce.

Dei mezzi resistenti utilizzati per la caduta dei grani, il più usato è, come si sa, l'acqua, agente su essi per impulso alternativo (nei crivelli idraulici) oppure per trascinamento (in apparecchi separatori a canale, dei quali è assai noto il tipo detto rhéolaveur).

Segue, in ordine di tempo e di importanza, l'uso dell'aria soffiata, applicata con peculiarità analoghe alle precedenti, soprat-

---

([18]) v. BERTHELOT, *Loc. cit.*, *Épierrage éléctrique Birtley*, pag. 27 e seg.

tutto in Francia, in Inghilterra ed in America, e viene per ultimo l'impiego di mezzi densi, ottenuti come soluzioni acquose di sali o come sospensioni in acqua di corpi inerti pulverulenti, entro cui la separazione si ottiene per ordinaria sedimentazione.

La teorica semplicità e l'efficienza separatrice di questi ultimi metodi, di gran lunga superiori a quelle degli anzi esposti idrogravimetrici, hanno attratto su di essi (che, in ultima analisi, industrializzano il dispositivo mineralogico della separazione mediante liquidi pesanti) l'attenzione degli interessati, fin da quando si conobbero i primi tentativi effettuati dal Lessing ([19]) servendosi di soluzioni di cloruro di calcio.

Ma la constatazione del dispendioso consumo del sale disciolto (30 Kg./Tn.) portava in seguito a modifiche del trattamento medesimo, le quali, secondo resultati forniti da saggi semi-industriali, perverrebbero anche alla separazione dei costituenti fondamentali del carbone ([20]), e perciò alla produzione densimetrica del « carbone puro ».

Sta però il fatto che la notevole viscosità delle soluzioni normalmente richieste, ostacola industrialmente la sceverazione delle particelle fini, il che ha indotto a tentare l'uso di altre soluzioni, più fluide, quali quelle di tetrabromometano e di pentacloroetano, attuate invero, ma con resultati economici insufficienti, in America.

L'impiego delle sospensioni acquose di sostanze inerti pulverulente, ha soprattutto dimostrato il vantaggio, rispetto alle soluzioni di sali, di permettere il ripristino, per semplice decantazione, della densità delle torbide operanti, ma d'altra parte le sospensioni stesse debbono possedere sia una notevole stabilità densimetrica, sia una viscosità efficacemente ridotta. Dei quattro diversi metodi finora ideati, in questo campo, due soli hanno avuto applicazioni industriali abbastanza rilevanti, e cioè:

il processo Chance alla sabbia silicea, con la quale si perviene ad ottenere sospensioni di densità fra 1,4 e 1,75, aventi viscosità tale da permettere il trattamento di grani fino ad 1,5 mm. di diametro;

il processo Olandese, che impiega miscugli sabbio-argillosi naturali, quali sono quelli costituenti la formazione geologica de-

---

([19]) T. C. Futers, *The Lessing System of cleaning coal*, « Colliery Guardian », Nov. 1929.

([20]) M. F. Bertrand, *Les perspéctives d'avenir du charbon pur*, « Rev. Un. Mines », Mai 1936.

Idem, *Relations entre les compositions pétrographiques et chimiques de quelques charbons purifiés*, « Rev. Un. Mines », Avril 1939.

nominata Loess ([21]) (dalla quale risulta, in gran parte, il suolo dell'Olanda).

Per quanto il primo di essi si sia già esteso in Inghilterra ed in America, così da interessare complessivamente il trattamento di circa 40 milioni di tonnellate di schlamms ([22]), il processo al Loess, che ha finora trovato applicazioni soltanto nelle miniere statali Olandesi, ha requisiti tecnico-economici tali da farlo giudicare di ancor maggiore avvenire.

Tuttavia, nella pratica industriale, anche i metodi densimetrici non sono adatti al trattamento dei fini al disotto di 1 mm. di grossezza e tanto meno a quello delle particelle impalpabili, alle quali si deve pensare per l'attuazione della più completa epurazione.

Come si è detto, servono, per la separazione di queste, i processi di fluttuazione, i quali, fruendo tanto delle conoscenze acquisite nel campo chimico-fisico pel trattamento integrale e differenziale medesimo, quanto di quelle fisiche esaltate dalla macinazione peculiarmente frazionata, sono avviati a risolvere il problema dell'ottenimento di prodotti specificamente pregiati, in particolare di quello del cosiddetto « carbone puro ».

Parte II.

Applicabilità ai Carboni Italiani.

Le ricerche sulla applicabilità, ai combustibili fossili italiani, delle conoscenze come sopra acquisite, erano apparse, a chi scrive, di alto interesse, non solo *scientifico-tecnico* ma bensì Nazionale, fino dalla pubblicazione delle prime sicure notizie sull'esito di studi analoghi sviluppati all'Estero ([23]).

Nel 1930, infatti, si iniziavano presso il Laboratorio di Miniere del R. Politecnico di Torino saggi petrografici sulle antraciti di La Thuile, i quali, successivamente continuati, permettevano di giungere nel 1934 ad innovatrici conclusioni scientifiche, nei riguardi della conoscenza di quei combustibili. E nella citata Memoria di questa Reale Accademia ([24]) che, illustrandoli, forniva le

---

([21]) G. Driessens, *Un nouveau progrès du lavage du charbon,* « Rev. Un. Mines », Mai 1939.

([22]) v. Berthelot, *Loc. cit.*, pag. 167.

([23]) E. Stach, *Kohlen petrographisches Praktikum.* Ed. Borntraeger. Berlin, 1928.

([24]) v. nota n. 11.

prime microfotografie italiane di carboni esaminati in luce riflessa polarizzata, era anche accennato alla opportunità di valorizzare, in seguito, gli studi stessi, dal punto di vista tecnico.

L'impulso vigoroso dato dalla politica autarchica del Regime Fascista alla produzione dei nostri combustibili, poneva intanto in efficienza giacimenti in allora solo parzialmente individuati, di tal che la produzione annua italiana, limitata nel 1934 a solo 80 mila tonnellate, saliva nel 1938 a circa 3 milioni, con la prospettiva programmatica di raggiungere i 7 milioni nel 1942. Tale notevole risultato era soprattutto conseguenza del ritmo accelerato impresso alla ricerca ed alla coltivazione minerarie, evolutesi rapidamente sia nei metodi, sia con la estensione della meccanizzazione in sotterraneo, ma le installazioni di epurazione coesistenti, pur accrescendosi in potenzialità, conservavano il loro tradizionalistico tipo idrogravimetrico. E neppure i criteri di analisi venivano organicamente adeguati agli orientamenti nuovi, sebbene dati interessanti sulla composizione chimica dei carboni stessi, siano stati ottenuti mediante l'« analisi elementare » e resi noti ad es. dall'Associazione Nazionale pel Controllo della Combustione, tanto per i carboni dell'Arsa ([25]) quanto, più recentemente, per quelli del Sulcis ([26]).

Con l'intendimento precipuo di richiamare ancora una volta sull'importanza del problema l'attenzione dei ricercatori italiani, l'A. dà ora notizia del lavoro da esso svolto ulteriormente, corredandolo dei vari dati ottenuti, anche di quelli che, pur non avendo finora significato conclusivo, possono costituire utile elemento di orientamento, in un campo di indagine così complesso e difficile.

Agli studi sulle antraciti di La Thuile, sono infatti qui stati aggiunti, nel frattempo, quelli analoghi sulle ligniti del Sulcis e dell'Arsa, e le ricerche, che hanno avuto quest'ultime due per oggetto, sono state estese anche al loro comportamento nei trattamenti sperimentali di epurazione, ad essi applicati.

Giova pertanto accennare alle esaurienti conclusioni alle quali la ricerca petrografica aveva addotto nei riguardi dei nostri carboni alpini, stabilendo (anche chimicamente e con l'ausilio dei raggi X) che le antraciti stesse, tanto nel loro tipo « stratoide » che nell'altro « breccioide » provengono da intenso metamorfismo di-

---

([25]) F. Roma, *Il carbone dell'Arsa ed il suo impiego nell'industria*, « Il Calore », N. 1, 31 gennaio 1937, pag. 65 e seg.

([26]) E. Del Bufalo, *Indagini fisiche e chimiche sul carbone del Sulcis*, « Il Calore », N. 9, 9 luglio 1939, pag. 270 e seg.

namico su carboni normali, originariamente zonati e brecciati. In entrambi i tipi medesimi, si era riscontrata abbondante la vitrite, mentre la scarsità della durite veniva confermata dalla spiccata predominanza di carbone vitritico nelle breccie. Infine, la fusite, che nel carbone stratoide si presentava in lenticciuole, mancava quasi totalmente nel breccioide, il che era in accordo non soltanto con la deficienza della fusite stessa nel preesistente carbone zonato, ma (probabilmente), con la tendenza del costituente medesimo a decadere metamorficamente in polvere minuta.

Le microfotografie assunte allora ad illustrare la struttura di tali combustibili ([27]), permettevano di constatare la presenza di avanzi organici fossili (i cosiddetti «corpi figurati») più o meno esattamente definibili ([28]) ma non era stato valutato il rapporto volumetrico dei costituenti e neppure indagata la loro separabilità.

Accogliendo, oggi, i criteri classificatori del Thiessen ([29]), il carbone stratoide anzidetto sembra potersi assegnare alla classe dei carboni vitritici a zonatura mista (Gemischstreifige Glanzkohlen) aventi tenori compresi per la vitrite fra 75% e 50% e per la durite fra 25% e 50%, il che confermerebbe il giudizio sulla prospettata idoneità del fino di antracite (che nelle classi granulari di grossezza inferiori a 0,20 mm. contiene dal 30 al 40% di ceneri) all'arricchimento per fluttuazione.

Passando ora a riferire circa i nuovi studi compiuti sopra i citati carboni Sardi ed Istriani, dobbiamo subito osservare che, mentre in tutte le ligniti, ed in particolare in quelle tenere (Weiche Braunkohle), è spesso difficile distinguere fra vitrite e durite in un giudizio sulla loro tessitura, questa distinzione si delinea abbastanza bene, sia nell'uno che nell'altro dei nostri due carboni e meglio nel carbone del Sulcis.

Per le ricerche da effettuare su quest'ultimo, si avevano a disposizione campioni provenienti dal 3° e dal 4° fascio della mi-

---

([27]) v. A. Bibolini e A. Giordana, *Loc. cit.*, microfot., n. 2 a 13.

([28]) Le denominazioni assegnate a tali residui, vennero dallo scrivente desunte, per analogia, dal testo di petrografia del carbone di E. Stach (v. Nota n. 3).

Il prof. sen. E. Mattirolo, che ebbe successivamente occasione di esaminare le microfoto anzidette, e quelle delle quali diremo in seguito, ha osservato che molte delle forme organiche ivi presenti, mostrano perfetta concordanza nelle loro esterne parvenze con le «Pezizze» del Gruppo Sarcosciphae e di quello delle Cochleatoe. Sono molto grato all'illustre botanico, per l'importante osservazione.

([29]) v. E. Stach, *Loc. cit.*, pag. 13.

niera di Serbariu [30] i quali, fra loro macroscopicamente non molto diversi, permettevano tuttavia di riscontrare un andamento substratoide più marcato nel carbone del 3° fascio che in quello del 4°, nel quale invece si osservano qua e là intercalazioni friabili, cònsone al maggior contenuto in polvere del campione globale medesimo.

Da ciò l'apprezzamento di un maggior contenuto vitritico ed anche fusitico per quest'ultimo, e la valutazione stessa veniva confermata dall'esame qualitativo in luce riflessa polarizzata. Le corrispondenti sezioni lucide, permettevano infatti di accertare che, mentre nei campioni del 4° fascio la vitrite si presenta in lenti abbastanza diffuse e discretamente estese, in quelli del 3° esse scarseggiano e sono in maggior parte duritiche. D'altro canto, i residui fossili detti « corpi figurati » erano, al microscopio, meglio distinguibili nelle sezioni del 4° fascio, più minuti invece, per quanto maggiormente diffusi, in quelli del 3°.

Pel carbone dell'Arsa si avevano a disposizione campioni [31] provenienti dal cantiere n. 291 della zona Nord, aperto nello strato superiore del 3° fascio e campioni provenienti dal cantiere n. 282 del carbone cretaceo della stessa zona.

Le differenze di tessitura, erano, anche qui, di poco e non uniforme rilievo, il campione del 3° fascio addimostrando soltanto una zonatura generalmente più fine e l'esistenza di esili intercalazioni opache, atte a conferirgli un aspetto più pulverulento di quello del carbone cretaceo. Si era così tratti ad ammettere, in entrambi, scarsità notevole di vitrite in lenti ed invece abbondanza di costituente duritico, reso friabile, verosimilmente, per la diffusione di residui organici, e la diagnosi petrografica pure confermava, come vedremo fra poco, tali conclusioni.

Ad illustrare le strutture dei combustibili come sopra elencati, sono riprodotte nelle Tav. I a IV, sedici tra le più significative microfotografie, tratte da più che cinquanta sezioni lucide [32] e cioè: pel carbone di Serbariu n. 12 sezioni, delle quali 11 pel carbone del 4° fascio ed una sola (la 12ª) per quello del 3° fascio, essendo assai

---

[30] I campioni stessi ci furono cortesemente inviati dalla Direzione delle Miniere di Serbariu e per essa dall'egregio Direttore dr. ing. L. Cioni, al quale qui si ripetono vivi ringraziamenti.

[31] Detti campioni ci furono analogamente inviati dalla Direzione delle Miniere di Arsia e per esse dall'egregio Direttore ing. L. Batini che qui nuovamente si ringrazia.

[32] Sezioni e microfotografie vennero accuratamente eseguite da O. Beltrami, tecnico del Laboratorio di Arte mineraria del R. Politecnico di Torino.

limitate le differenze paleofitologiche fra quelle di quest'ultimo; pel carbone dell'Arsa n. 4 sezioni, delle quali la 13ª e la 14ª attinenti al cantiere 291, la 15ª e la 16ª attinenti al cantiere 282 del cretaceo.

Esse si descrivono brevemente, come segue (v. Tav. 1 a 4):

Carbone della miniera di Serbariu.

La fig. 1 rammostra una formazione lenticolare di vitrite, compresa entro durite e la fig. 2 dà un esempio della microstruttura dei tessuti cellulari, resa evidente mediante ingrandimento assai più forte, entro la proveniente vitrite. Il contatto tra vitrite e durite è ben palese nella fig. 3, il limite essendo marcato da concentrazioni di sostanze humiche, mentre nella parte duritica si rileva la diffusione della pirite, in minutissimi granuli.

La fig. 4 fornisce un esempio tipico delle intrusioni calcitiche, le quali di frequente si riscontrano nel carbone, anche macroscopicamente, in venuzze di posteriore formazione.

Le figg. 5, 6, 7 ed 8 caratterizzano le forme fossili riscontrate più abbondanti nelle sezioni lucide tratte da esso, le quali forme, stando alle esemplificazioni fornite da E. Stach [33], sarebbero da riportarsi ai tipi da lui detti Sclerotites e Sclerotium, che il medesimo A. ha accertato presenti in ligniti del terziario medio ed inferiore, della Columbia Britannica e dell'Ungheria.

La fig. 9 dà invece l'immagine di una cosiddetta megaspora [34], mentre le figg. 10 ed 11 rappresentano residui di strutture legnose, costituenti la parte fusitica scarsamente presente.

Finalmente, la fig. 12 pone in evidenza l'esistenza di corpi cerosi entro la vitrite, assai significativi nei riguardi del tenore in bitume del combustibile. In quest'ultima microfotografia, come pure in maggior o minor grado in quasi tutte le sezioni precedenti, è visibile la disseminazione di granuletti di pirite, i quali giustificano il tenore in solfo non organico, che le analisi dei carboni in oggetto hanno ripetutamente determinato.

Carbone della Miniera Arsia.

La fig. 13 rappresenta anche qui una lente di vitrite racchiusa nella durite, ma nella vitrite sono visibili minutissime impurità organiche ed inorganiche, tra le quali numerosi granellini di pirite,

---

[33] v. E. Stach, *Loc. cit.*, fig. 42 a 45.

[34] È pure da tener presente a questo riguardo l'importante osservazione dovuta al Sen. prof. Mattirolo e riportata in Nota n. 28.

complessivamente eloquenti nei riguardi delle qualità della vitrite stessa, mentre la fig. 14 rammostra una cosiddetta « megaspora » entro una durite vitritica ricca di « corpi figurati » e di pirite.

Maggiori impurità rivelano le sezioni tratte dal carbone cretaceo: di esse la fig. 15 illustra tipicamente la struttura duritica ricca di cosiddette sclerotites, quale si è riscontrata predominante nella maggior parte delle sezioni esaminate, mentre la fig. 16 pone altresì in evidenza la microstruttura dei tessuti cellulari della parte vitritica, della durite stessa.

Le diagnosi petrografiche anzi esposte, le quali per poter dare origine ad apprezzamenti quantitativi dovrebbero essere completate con determinazioni agli apparecchi integratori da microscopio, permettono tuttavia di concludere che, nei campioni esaminati, la distinzione fra vitrite e durite è, in certo modo, meglio possibile nel carbone sardo che in quello istriano, il quale d'altra parte rivela un tenore in pirite minore rispetto a quello del primo e quest'ultima osservazione, non solo è conforme ai dati analitici ([35]) ma è anche cònsona alla constatazione resultante dalle analisi chimiche medesime, secondo le quali il tenore in solfo del carbone del Sulcis, aumenta passando dagli strati superiori agli inferiori, ciò che è logico data la ubicazione di questi ultimi sulle formazioni basali, ricche, in Sardegna, di manifestazioni metallifere, anteriori alla deposizione lignitifera.

Dal confronto tra gli apprezzamenti di cui sopra, si è ritenuto il carbone Sardo più idoneo a preliminari ricerche sperimentali di epurazione ed è perciò che, riservando al carbone Istriano eventuali studi ulteriori, i nostri si sono svolti, assumendo per le prove i campioni provenienti dalla Miniera di Serbariu.

Ricerche sulla epurazione dei carboni del Sulcis.

Seguendo i concetti espressi più sopra a pag. 90, si è considerato anzitutto il problema della separabilità densimetrica del carbone in grani e nell'attesa di poter passare a prove di carattere industriale con l'uso di sospensioni pesanti idonee, si è proceduto a saggi di laboratorio, mediante l'impiego di liquidi pesanti.

([35]) v. i dati analitici riportati nei lavori citati in note 23 e 24.

Prove di separazione densimetrica. Sono stati a tal uopo utilizzati ([36]): il xilolo (di p. sp. 0,85), il tetracloruro di carbonio (di p. spec. 1,6) ed il bromoformio (di p. spec. 2,9) in miscele aventi densità di 1,24, 1,345, 1,44, 1,55 e 1,67. Si trattarono grani di grossezza compresa fra 15 e 0,5 mm. di un campione del 4º fascio avente il 10% di tenore in cenere e il 4,5% di materie volatili. La classe stessa, che rappresentava il 65% in peso del campione totale (il maggiore di 15 mm. costituendone il 34%) fornì i seguenti gruppi densimetrici:

1) di densità compresa fra 1,24 e 1,345: il 44,2% in peso, avente il 4,56% di ceneri;
2) di densità compresa fra 1,345 e 1,44: il 36,3% in peso, avente il 9,43% di ceneri;
3) di densità compresa fra 1,44 e 1,55: il 15,5% in peso, avente il 18,52% di ceneri;
4) di densità compresa fra 1,55 e 1,67: l'1,2% in peso, avente il 27,76% di ceneri;
5) di densità maggiore di 1,67: il 2,8% in peso, avente il 54,94% di ceneri.

Tali risultati sono idonei ad indicare (per quanto solo approssimativamente) che una separazione densimetrica, quale potrebbe essere industrialmente attuata servendosi ad es. di argille sabbiose di tipo Loess (secondo il metodo Olandese ricordato a pag. 90) potrebbe fornire, da una classe granulare come sopra delimitata, già più del 40% in peso della classe stessa, ad un tenore in cenere inferiore alla metà di quello dell'originario rinfuso ([37]). È però evidente che soltanto dopo un probativo esperimento, fatto su scala semi-industriale, tale metodo potrebbe essere suggerito, a sostituire in tutto od in parte quello idrogravimetrico, attualmente esistente.

Lo studio della epurazione dei fini o schlamms, è stato effettuato quasi esclusivamente su carbone appositamente macinato,

---

([36]) Questi saggi, come i numerosi altri di fluttuazione (ben 56) dei quali si dirà in seguito, vennero diligentemente effettuati dal dott. ing. Sergio Tomatis, Assistente ordinario alla cattedra di Arte mineraria, coadiuvato dall'allievo ricercatore dott. ing. P. Badino.

Le analisi ed i dosaggi chimici vennero effettuati dal dott. T. Marsiglia, chimico presso il Laboratorio anzidetto.

([37]) È appena necessario ricordare che le «materie incombustibili» non coincidono con le «ceneri» quali sono date come sopra dagli usuali metodi analitici, ma che invece le superano in media per circa 1/6. - v. «Il Calore», a. 1938, n. 2, pag. 49.

in quanto nei campioni di rinfuso avuti in esame, la quantità di minerale pulverulento, di grossezza adatta al trattamento fluttuativo, era troppo esigua. Infatti, la produzione dai fasci 3° e 4° nella miniera di Serbariu, effettuata per ora prevalentemente senza intervento di macchine di abbattimento, si ritiene costituita in gran parte da pezzame più o meno grosso, essendo invece una certa quantità di fino prodotta dai fasci 1° e 2°, che sono meno potenti e per ora meno produttivi. Quindi, poichè non è neppure da far gran conto sul contributo in schlamms che potrebbe essere addotto da un più esteso trattamento idrogravimetrico, al problema di questi fini medesimi non può colà essere attualmente assegnata importanza industriale, ma il problema stesso potrà acquistarla in un non lontano avvenire, così come avviene p. es. per le miniere dell'Arsa, nelle quali il minuto costituiva già, nel 1932, oltre il 30% del totale ([38]).

Sono state effettuate tanto prove di fluttuazione integrale quanto prove di fluttuazione differenziale ([39]), e di entrambi i gruppi delle prove stesse si dà qui relazione, anche se, alle ultime dette, manca tuttora quel successo che i dati di orientamento conseguiti lasciano sperare, ma che, soprattutto per la insufficienza dei nostri dispositivi sperimentali, non si è peranco potuto conseguire.

Il carbone è stato macinato: in mulinetti di porcellana per le prove orientative su campioni da 50 a 200 grammi; e in mulino sperimentale a sfere d'acciaio, avente circuitazione interna regolabile (dovuto a chi scrive) per le prove più estese.

Gli apparecchi di fluttuazione a disposizione, che vennero tutti utilizzati per i necessari confronti, erano: la cella sperimentale Fagergreen, le celle Denver da 50, 500 e 2000 gr., il tubo e la cella sperimentale Callow; i primi due tipi di macchine essendo usabili ad aria aspirata e soffiata, le altre ad insufflazione d'aria.

Saggi preliminari fatti allo scopo di stabilire il più idoneo grado di macinazione, convinsero che la grossezza massima delle particelle, atta a permettere nei nostri apparecchi una sufficiente separazione, era quella corrispondente allo staccio N. 110 - Fornara avente 0,17 mm. di lato utile per le maglie, con che il prodotto

---

([38]) Vedi « Rivista sul Servizio Minerario per l'anno 1932 », Ed. Istituto Poligrafico dello Stato, pag. 353.

([39]) Conserviamo questa distinzione, per quanto la separazione selettiva da noi effettuata risulti, per ora, dimostrabile più da ragionati apprezzamenti di confronto, che non da rigorose determinazioni.

medesimo perveniva a grossezze per circa il 50 %, in peso, filtrabili alla rete N. 200 - Fornara (cioè di lato utile inferiore a 0,07 mm.).

Un fenomeno degno di nota ai fini degli apprezzamenti sulla macinazione, è quello che offre il materiale, il quale, polverizzandosi, assume, per la parte più fine, un colore d'assieme brunorossastro, mentre la restante massa granulare, in scagliette, conserva color nero brillante.

Il tenore in ceneri del rifiuto, era in media del 10 %, ma fra un campione di saggio e l'altro, le determinazioni presentavano scarti anche superiori ad una unità, dovuti probabilmente alle variazioni di composizione delle materie incombustibili ([40]), cosicchè, onde conseguire la maggior sicurezza possibile nei confronti fra saggi diversi, sono stati scelti quelli che si svolsero su campioni a tenori in cenere, eguali ed elevati.

Le prove utilizzabili ai fini delle ricerche effettuate per la fluttuazione integrale, furono 51 ([41]) su un totale di 56, così suddivise:

di sgrezzatura: n. 13 con celle Denver e n. 7 con cella Fagergreen;

di ripasso sui concentrati grezzi così ottenuti: n. 13 con celle Denver, n. 7 con tubo Callow, n. 4 con cella Fagergreen;

di pulitura del concentrato di ripasso: n. 2 con cella Denver; e di pulitura del rifiuto grezzo: n. 1 con cella Denver.

Le prove di fluttuazione differenziale, furono invece soltanto 3, tutte effettuate con cella Callow.

Prove di fluttuazione integrale.

Nella sgrezzatura, si usarono: come schiumeggiatori: il fenolo, l'olio di catrame di legno e l'olio di pino e si saggiarono come modificatori: il carbonato e il cianuro di sodio, la calce e l'acido solforico; come flocculatori: il silicato di sodio, l'amido, l'albumina e l'acido tannico.

I resultati ottenuti, dimostrarono però che si può pervenire a risultati soddisfacenti, anche con il solo schiumeggiatore, pur adoperato in piccolissima dose (le torbide ottenute con questi carboni avendo spiccata attitudine a schiumeggiare) ma che ha tuttavia favorevole influenza l'adozione di un flocculatore, quale il silicato di sodio.

([40]) v. nota n. 37.

([41]) Si è ritenuto superfluo pubblicare i singoli resultati dei saggi, i quali rimangono tuttavia a disposizione di coloro che possono avere interesse a conoscerli.

Si riportano qui di seguito i dati relativi alle prove n. 5 e n. 16, eseguite rispettivamente usando la cella Fagergreen e la cella Denver da 50 grammi.

Prova N. 5. — Olio di catrame di legno 75 gr./tonn.; diluizione 1/5; pH = 7,4.

Tenore in ceneri	% in peso rispetto al campione
del campione 10,5%	100
del concentrato 4,89%	75
del rifiuto 27,3%	25
Resa del concentrato rispetto al C del campione .	80%

Prova N. 16. — Olio di catrame di legno 75 gr./tonn., silicato di sodio 3 kg./tonn., diluizione 1/5,7; pH = 8,8.

Tenore in ceneri	% in peso rispetto al campione
del campione 10,5%	100
del concentrato 4,8%	78,4
del rifiuto 30,1%	21,6
Resa del concentrato rispetto al C del campione	83%

Poichè gli analoghi dati di trattamento degli altri 18 saggi di sgrezzatura non si discostano, nella loro media, da quelli anziesposti, se ne deduce che la fluttuazione integrale del carbone in esame, permette di ottenere più del 75% in peso del prodotto epurato, contenente meno del 5% di ceneri, con una resa in carbone di più che l'80% di quello inizialmente presente.

Il rifiuto al 30% di ceneri, anzichè gettato in discarica potrebbe essere, almeno parzialmente, utilizzato in sito (ad es. come combustibile polverizzato) pel che si è studiata, come diremo in seguito, l'eventuale possibilità di migliorarlo mediante ripasso.

Il concentrato di cui sopra, venne pure sottoposto a ripassi e per questo lo schiumeggiatore, che per la sua attenuata efficienza si giudicò più idoneo, fu il fenolo, con l'uso del quale vennero effettuate numerose prove, onde determinare il tenore optimum per il suo impiego e non si trascurò neppure di considerare l'effetto di un agente schiumeggiatore più energico, quale l'olio di pino (associandovi allora un flocculatore speciale quale è l'amido) ed altresì quello del solo flocculatore, pel quale si scelse il silicato di sodio.

Si riportano qui di seguito i dati relativi alle prove: N. 23 bis alla cella Denver, NN. 43 e 6 al tubo Callow e N. 5 con la cella Fagergreen.

Prova N. 23 bis. — Fenolo 70 gr./tonn.

Tenore in ceneri	% in peso rispetto al campione
del campione 4,89%	100
del concentrato 4%	78,8
del rifiuto 7,2%	22,2
Resa del concentrato rispetto al C del campione	80%

Prova N. 43. — Fenolo 200 gr./tonn.

Tenore in ceneri	% in peso rispetto al campione
del campione 5,13%	100
del concentrato 3,77%	75,3
del rifiuto 9,27%	24,7
Resa del concentrato rispetto al C del campione	77,2%

Prova N. 6. — Silicato di sodio 870 gr./tonn.

Tenore in ceneri	% in peso rispetto al campione
del campione 4,89%	100
del concentrato 3,43%	81
del rifiuto 11,15%	19
Resa del concentrato rispetto al C del campione . .	82%

Prova N. 5a. — Olio di pino 280 gr./tonn.; amido 100 gr./tonn.

Tenore in ceneri	% in peso rispetto al campione
del campione 4,89%	100
del concentrato 3,55%	84,6
del rifiuto 11,46%	16,4
Resa del concentrato rispetto al C del campione	85%

I resultati come sopra ottenuti, i quali poco si discostano dalla media di quelli forniti dalle altre analoghe venti prove, hanno servito a stabilire che un ripasso, attuato con l'uso di uno qualsiasi degli agenti indicati, permette di ottenere un secondo concentrato a meno del 4% di ceneri, avente l'80% in peso di esso ed un rifiuto a tenore in ceneri migliore di quello del minerale originario, che potrà essere, nel ciclo della produzione industriale, aggiunto all'alimentazione.

Ne consegue che, partendo da carboni al 10,5% di ceneri, è possibile avere, in una macchina provvista per ripassi (e cioè

costituita da celle sgrezzatrici = roughers e da celle ripassatrici = cleaners) un concentrato con soltanto il 4% circa di ceneri, aventi peso pari al 60% di quello del carbone alimentato.

Finalmente, pur ritenendo che una ulteriore epurazione dovrebbe trovare più economico conseguimento in fluttuazione differenziale, si è voluto provare quali effetti potevano ottenersi con una rifluttuazione del concentrato ora detto, e su questo, e sul trattamento analogamente espletato pel rifiuto delle operazioni di sgrezzatura, si forniscono, qui di seguito, i dati rispettivi.

Per la ripulitura del concentrato di ripasso, si effettuarono le due prove N. 24 ter e N. 14 entrambe in cella Denver, usando soltanto fenolo, in ragione di 170 gr./tonn. per la prima e di 230 gr./tonn. per la seconda.

Prova N. 24 ter. — Fenolo 170 gr./tonn.

Tenore in ceneri	% in peso rispetto al campione
del campione 3,92%	100
del concentrato 3,00%	30
del rifiuto 4,3%	70
Resa del concentrato rispetto al C del campione	43%

Prova N. 14. — Fenolo 230 gr./tonn.

Tenore in ceneri	% in peso rispetto al campione
del campione 4,00%	100
del concentrato 3,12%	40
del rifiuto 4,6%	60
Resa del concentrato rispetto al C del campione	40

Essi dati dimostrano che è possibile ottenere un prodotto assai puro, di peso pari al 30-40% di quello del campione, al tenore di circa il 3% in ceneri (le frazioni progressivamente prelevate nelle prove suddette, ebbero valori minimi di 2,79 e 2,93% rispettivamente) ed un rifiuto, suscettibile di ritornare in circuito. Cosicchè, associando questa terza operazione alle due precedenti (ciò che è pure realizzabile in idonei apparecchi multicellulari, dotati anche di celle ripulitrici = recleaners) si potrebbe ottenere, partendo da un combustibile al 10,5% di ceneri, un carbone con solo il 3% di ceneri, avente peso pari al 20% circa del combustibile sottoposto alla fluttuazione.

In modo analogo, si è proceduto alla concentrazione del rifiuto di sgrezzatura e la prova N. 12 effettuata in cella Denver, usando 250 gr./tonn. di silicato di sodio e 27 gr./tonn. di olio di pino, ha fornito i seguenti resultati:

Prova N. 12. — Silicato di sodio 250 gr./tonn., olio di pino 27 gr./tonn.

Tenore in ceneri	% in peso rispetto al campione
del campione 37%	100
del concentrato 18,5%	57
del rifiuto 60,5%	43
Resa del concentrato rispetto al C del campione	83

Questa prova, che ha soprattutto interesse sperimentale, potrebbe anche avere interesse industriale se ad es. resultasse conveniente produrre un mercantile al 5% di ceneri e si potesse utilizzare localmente un rifiuto al 18,5%. In tal caso, il collocamento in discarica dello sterile al 60% costituirebbe una perdita in C di soltanto poche unità per cento. Ma, evidentemente, la definizione del più conveniente circuito di fluttuazione è subordinata alla più o meno efficente attitudine alla separazione delle torbide di ripasso, sulla quale nessuna ipotesi può essere avanzata, se non in base a sicuri resultati sperimentali, da accertare mediante l'uso di apparecchi multicellulari dei quali il Laboratorio del Politecnico non è ancora provvisto.

Tuttavia, la fig. 1 della Tavola 5 fornisce uno degli schemi che possono essere ideati pel ciclo di fluttuazione integrale, atto a realizzare completamente il trattamento anzi esposto, nell'ipotesi che le rese in C fornite dai singoli saggi, possano essere sensibilmente conservate nella sequenza delle operazioni.

Prove di fluttuazione differenziale.

Scopo precipuo di queste prove, è stato quello di valutare il grado di separabilità dei costituenti petrografici del carbone in esame, in quanto, con la separazione medesima, si perverrebbe all'ottenimento di sostanze specificamente pregiate, adatte ad impieghi diversi, fra le quali la vitrite, che costituirebbe il cosiddetto « carbone puro ».

Sono già state poste in rilievo le notevoli difficoltà che si frappongono in generale alla risoluzione di questo problema ed in particolare quelle che debbono essere superate nel caso di carboni

giovani, quale è il nostro, notoriamente superiori rispetto alle analoghe pei combustibili antichi.

Un'idea al riguardo, la si ha considerando i resultati delle prove precedenti, le quali hanno mostrato: per via densimetrica che vi sono bensì nel nostro combustibile, classi granulari aventi densità compresa fra 1,24 e 1,34 %, però con un contenuto di ceneri pari al 4,56 %; e per mezzo della fluttuazione integrale: che i concentrati migliori ottenibili in seguito a due ripassi, contengono ancora almeno il 2,79 % di ceneri.

Ora, i dati generici anzi riportati (pag. 86) sulla densità dei costituenti il carbone, ci fanno avvertiti che la densità minore di 1,34 è da assegnarsi piuttosto alle densità duritiche, in quanto queste sono comprese fra 1,210 e 1,689, essendo i valori densimetrici pei connessi « corpi figurati » compresi fra 1,20 e 1,28.

La fluttuazione integrale, che è stata capace di separare prodotti a 2,79 % di ceneri, ha dunque fornito un prodotto più vitritico di quello densimetrico sopra indicato (perchè la vitrite ha meno cenere della durite), ma, per certo, il prodotto medesimo, data la scarsità della fusite, è ancora da intendersi contenente in predominanza durite vitritica ([42]).

A questa conclusione adducono anche i confronti fra i resultati analitici delle ceneri dei carboni e dei corrispondenti prodotti (il concentrato ed il rifiuto) forniti dalla fluttuazione integrale.

Così ad es.: i dosaggi dei principali componenti le ceneri di un campione al 9,45 % (prova n. 35) e dei suoi prodotti di fluttuazione, rispettivamente al 5,22 % ed al 26,6 % di ceneri, nelle proporzioni in peso del 79,2 e del 20,8 % dei prodotti stessi, dettero i seguenti risultati:

	Ceneri del campione	Ceneri del concentrato	Ceneri del rifiuto
Silice e silicati indecom.	7,7%	9,23%	6,58%
Al_2O_3	4,94%	7,60%	2,86%
Fl_2O_3	16,46%	25,50%	11,04%
CaO	32,10%	22,40%	49,00%
MgO	2,40%	3,96%	1,36%
S	13,65%	13,40%	13,80%

Essi dicono essenzialmente che, mentre i silicati alluminiferi, più o meno ferriferi, tendono a raccogliersi nel concentrato, in

([42]) Invero, il peso specifico di tali prodotti, determinato mediante il volumenometro dovuto a chi scrive (v. « Atti Ass. Mineraria del Piemonte » anno 1933, pag. 8) era di 1.32.

probabile corrispondenza con le impurità duritiche dovute ai corpi figurati, la silice, la calcite e la pirite tendono invece a rimanere nel rifiuto.

D'altra parte l'azione di liberazione fisica esercitata dalla macinazione, non ha potuto farsi sentire in modo esauriente, in quanto i nostri apparecchi di laboratorio hanno richiesto che essa fosse limitata a 110 maglie, ossia a 0,17 mm. di grossezza, mentre le microfotografie rammostrano, accanto a lenti di vitrite ed a « corpi figurati » di dimensioni comprese fra 6/10 e 1/10 di mm., carbone duritico contenente residui fossili e granuli di pirite, dimensionalmente più piccoli di 1/100 di mm.

Pure non escludendo a priori la possibilità di affrontare industrialmente in tal senso il problema (in quanto è da ritenere prossimo l'avvento industriale di apparecchi di macinazione e di fluttuazione ad alto rendimento, che già esistono ma dei quali non si posseggono finora dati sicuri ([43])), le nostre ricerche ebbero lo scopo di accertare l'azione fluttuatrice differenziale, conseguente all'impiego di idonei agenti.

A tale scopo, le prove N. 46, 49 e 51 si effettuarono in cella sperimentale Callow nell'ipotesi che, almeno i primi prelevamenti selettivi, abbisognino di un attenuato schiumeggiamento per insufflazione d'aria, anzichè dell'agitazione meccanica.

Esse vennero condotte come segue:

Prova N. 46. — Il minerale avente 8,12 % di ceneri, macinato in mulino a sfere di acciaio, a 0,17 mm. (rete n. 110 - Fornara) veniva dapprima trattato in condizionatore Denver con 850 gr./tonn. di silicato e 300 gr./tonn. di carbonato di sodio e la torbida, con diluizione 1/12, era poi posta nella cella di fluttuazione.

In tale ambiente alcalino, insufflando aria a debole pressione, si formava, senza intervento d'altri reattivi, una leggera schiuma che, raccolta, costituiva un primo prodotto. Un secondo prodotto era ottenuto con l'uso del fenolo (debole schiumeggiatore) in ragione di 200 gr./tonn.; indi l'operazione veniva proseguita con l'addizione di 100 gr./tonn. di olio di catrame, durante la quale si raccoglievano successivamente due prodotti, considerando infine come rifiuto il minerale residuante nella cella.

([43]) Sono di questo tipo il mulino sperimentale a circuitazione interna regolabile dovuto a chi scrive (v. nota n. 4) e le celle di fluttuazione profonde ad aria sovracompressa, utilizzate alla miniera Britannia in Columbia Britannica, descritte da Mac Leod nel « Mining Magazine » del dicembre 1938.

Nella tabella seguente sono raccolti i resultati quantitativi ottenuti:

Prova N. 46.

	% in ceneri	% in peso del campione
1° prodotto	7,86	3,53
2° »	3,58	8,20
3° »	3,40	4,47
4° »	4,82	74,50
rifiuto	40,82	9,30
		100,—

Tale successione di tenori in ceneri, è sufficientemente in accordo con quanto esposto a pag. 88 del nostro scritto, nel senso che l'ambiente alcalino si è dimostrato idoneo ad ostacolare lo schiumeggiamento dei costituenti più puri, cioè vitritici, in analogia a quanto, con l'intervento di agenti ossidanti, succede pei carboni più antichi ed ha invece permesso il galleggiamento dei costituenti fusitici, per la stessa alta facoltà fluttuativa da questi posseduta. L'intervento di uno schiumeggiatore debole come il fenolo, è bastato a ravvivare la vitrite e, con l'aiuto dell'olio di catrame, a determinare il galleggiamento della durite, raccogliendosi nel prodotto residuo, le impurità minerali insieme ai grani duritici più grossolani.

È da rilevare infine l'epurazione notevole che è stata raggiunta con l'anzidetto primo trattamento differenziale, la quale giustifica quanto è stato precedentemente osservato a pag. 102, nei confronti della fluttuazione integrale.

Prova N. 49. — È stato trattato minerale macinato mediante sbarre, anzichè con sfere d'acciaio, onde ridurre al minimo nella composizione granulometrica ottenuta, la quantità di particelle più fini. Di tale differenza, risente infatti il complesso dei risultati, ottenuti con lo stesso procedimento di cui sopra:

	% in ceneri	% in peso del campione
1° prodotto	4,47	9,10
2° »	3,96	42,60
3° »	6,09	29,00
4° »	11,05	13,60
rifiuto	60,53	5,70
		100,—

MINIERA SERBARIU

100 × NICOLS +

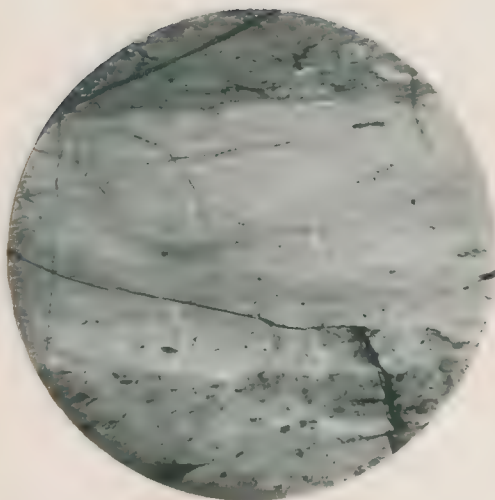



Fig. 1. — Zona lenticolare di vitrite, con distacchi, inclusa nella durite.

800 × NICOLS +

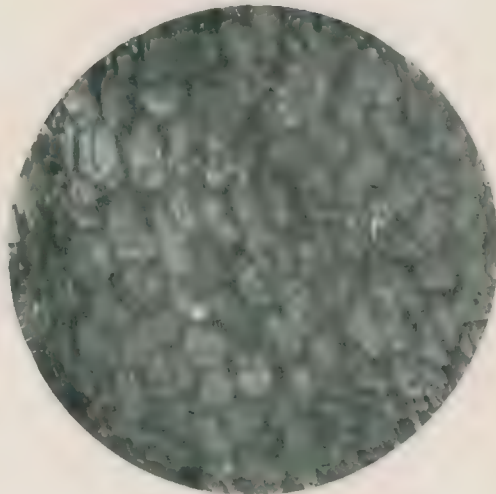



Fig. 2. — Struttura cellulare del periderma, nella vitrite

100 × NICOLS +

Fig. 3. — Contatto vitrite-durite con concentrazioni di sostanze humiche e minuta diffusione di pirite nella durite.

200 × NICOLS +

Fig. 4. — Vena di calcite in vitrite, con concentrazioni di sostanze humiche e granulo di pirite.

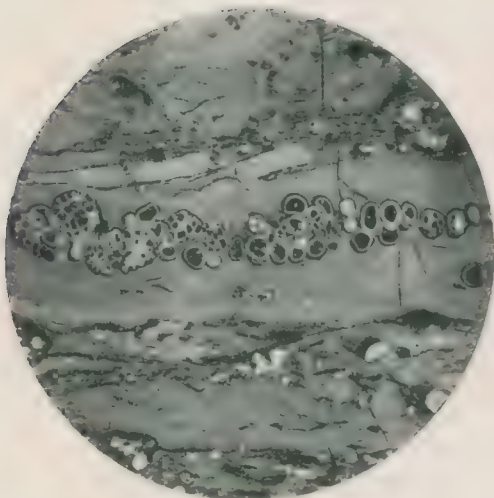
MINIERA SERBARIU

150 × NICOLS +

Fig. 5. — Sclerotites cavatoglobosus e brandonianus (v. E. Stach) entro lente vitritica racchiusa in durite.

600 × NICOLS +

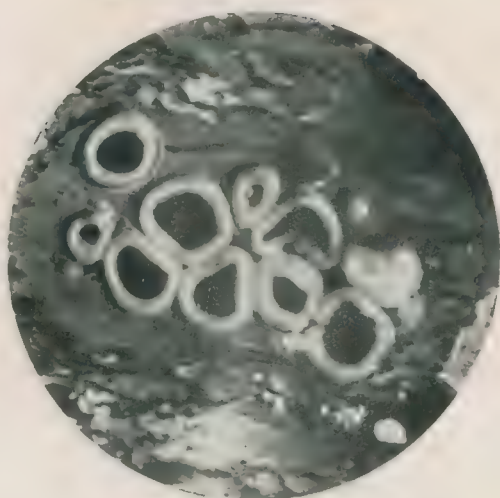



Fig. 6. — Sclerotites cavatoglobosus in durite (v. E. Stach).

700 × NICOLS +

Fig. 7. — Sclerotium (v. E. Stach).

500 × NICOLS +

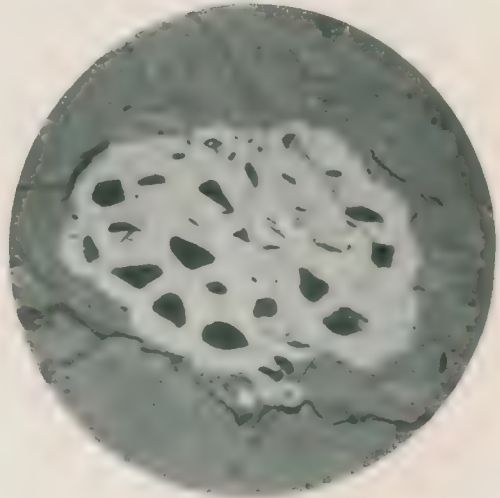



Fig. 8. — Sclerotites brandonianus (v. E. Stach).

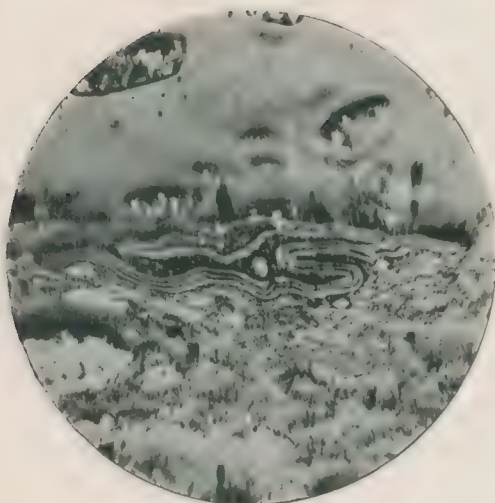
MINIERA SERBARIU

150 × NICOLS +

Fig. 9. — Megaspora (v. E. STACH) al concetto fra vitrite e durite.

150 × NICOLS +

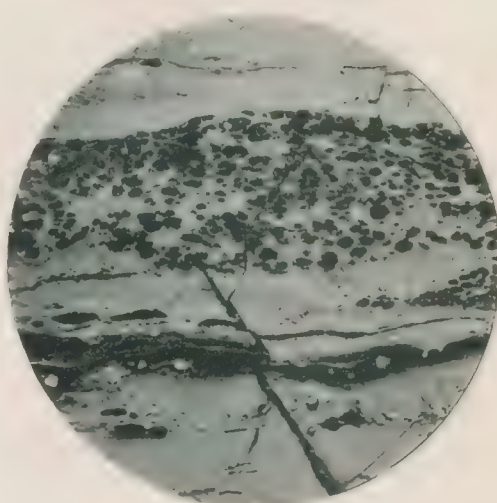



Fig. 10. — Struttura legnosa di fusite.

150 × NICOLS +

Fig. 11. — Fusite in durite.

150 × NICOLS +

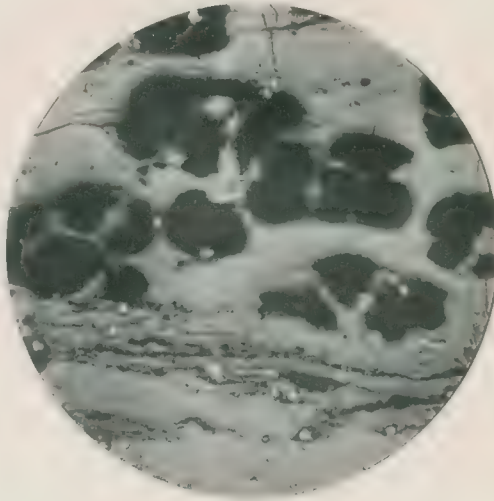



Fig. 12. — Corpi cerosi tondeggianti nella vitrite, con pirite diffusa.

MINIERA ARSIA

150 × NICOLS +

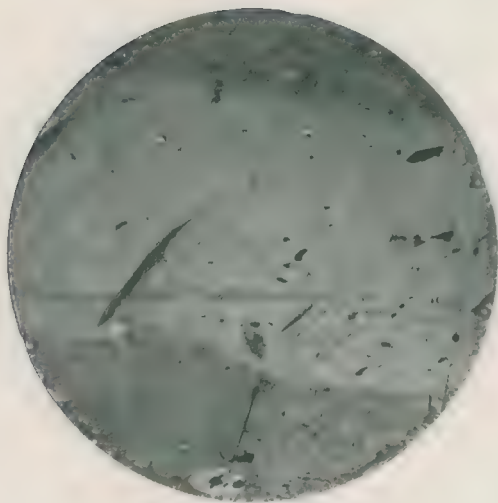



Fig. 13. — Lente di vitrite inclusa in durite.

200 × NICOLS +

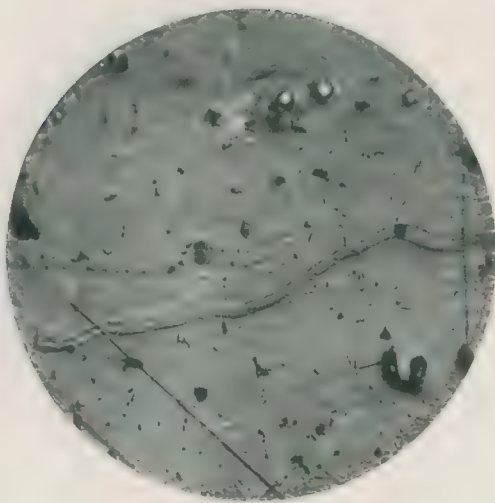



Fig. 14. — Megaspora (v. E. STACH) in vitrite duritica.

200 × NICOLS +

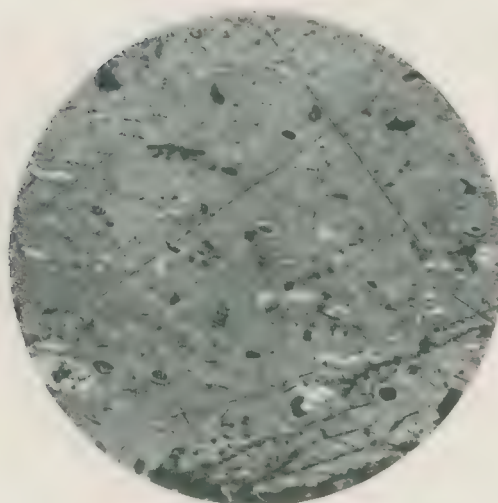



Fig. 15. — Eodurite.

100 × NICOLS +

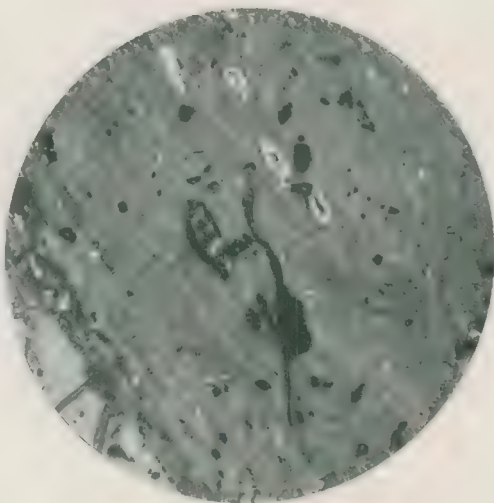
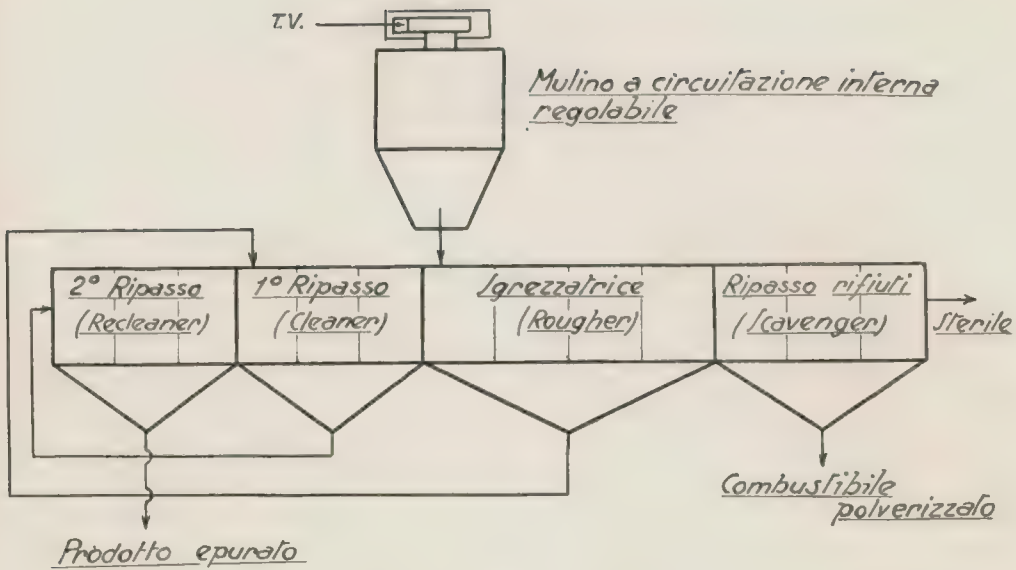



Fig. 16. — Struttura cellulare in vitrite duritica.

T.V.
Mulino a circuitazione interna regolabile
2° Ripasso (Recleaner)
1° Ripasso (Cleaner)
Sgrezzatrice (Rougher)
Ripasso rifiuti (Scavenger)
Sterile
Combustibile polverizzato
Prodotto epurato

Fig. 1.

Fluttuazione integrale.

T. V.
Limi fusitici
Mulini
Condizionatore
Prodotto fusitico
Prodotto vitritico
Combustibile polverizzato
Sterile

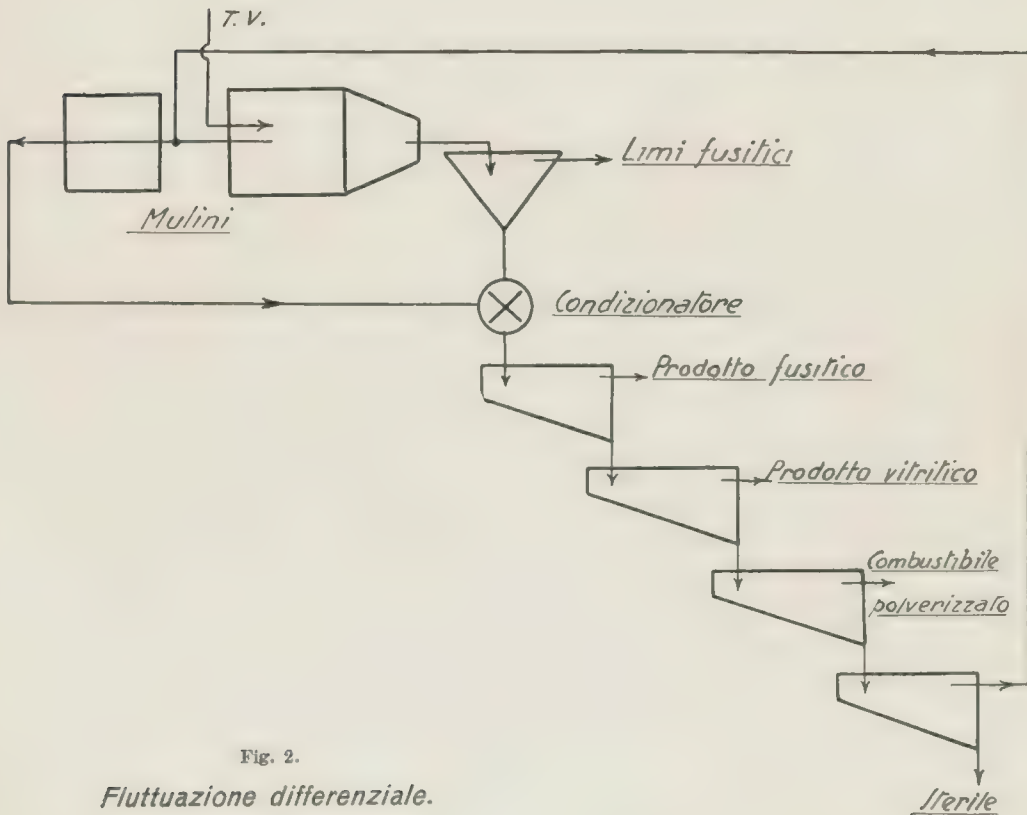



Fig. 2.

Fluttuazione differenziale.

Ma anche qui, la successione dei tenori in ceneri addimostra la tendenza selezionatrice della fluttuazione, nel senso illustrato dalla prova precedente, per quanto con scarti di tenore inferiore, che sono appunto da imputare alla deficienza di particelle fini.

Prova N. 51. — A controllo di quanto sopra, è stata in questo saggio diminuita l'alcalinità iniziale, condizionando la torbida con solo silicato di sodio ed ottenendo per essa pH = 7,2. Il primo prodotto è stato ottenuto senza aggiunta di altri reattivi, mentre il 2°, il 3° ed il 4° si sono avuti usando olio di catrame. L'ultimo concentrato veniva rimacinato e, mediante una prima aggiunta di fenolo e successivamente di olio di catrame, si prelevavano altri tre prodotti ed un residuo sterile.

Nella tabella seguente, sono raccolti i resultati quantitativi ottenuti:

		% in ceneri	% in peso del campione
I.	1° prodotto	6,20	7,40
	2° »	5,97	5,00
	3° »	5,89	7,00
	4° »	8,41	74,00
	rifiuto	49,29	6,60
			100,—
II.	1° prodotto	6,35	5,10
	2° »	5,48	20,00
	3° »	6,37	60,00
	sterile	20,84	15,00
			100,00

È facile rilevare che, con la diminuzione dell'alcalinità, l'azione selettiva si è qui attenuata, ma che tuttavia un effetto differenziatore è stato ottenuto col fenolo, anche dopo la rimacinazione del 4° prodotto, il che conferma pure sufficientemente quanto prospettato nel commento alla prova N. 46.

Se ne può quindi complessivamente dedurre, che la fluttuazione selettiva è possibile per i carboni sardi ed è molto probabile che essa abbia ad avere efficacia maggiore, se nel trattamento stesso verranno preliminarmente asportati per tracimazione i limi più fini, prodotti con macinazione graduale ed il residuo del trattamento della rimanente parte granulare, prevalentemente duritica, venga sottoposto a macinazione spinta, atta a liberare almeno la maggior parte delle impurità organiche.

La fig. 2 della Tavola 5 fornisce uno schema illustrativo del ciclo, che dovrebbe essere attuato per confermare, con esperimenti in conveniente scala, i resultati come sopra ottenuti.

CONCLUSIONE

Come resulta da quanto esposto nella presente nota, il problema tecnico-industriale della epurazione dei combustibili fossili si può ritenere ormai decisamente avviato verso la sua soluzione integrale, mercè il contributo che hanno ad essa apportato: la petrografia, con la definizione strutturale dei carboni; la fisica e la chimico-fisica con l'individuazione delle proprietà differenziatrici dei loro costituenti; la meccanica con l'avvento di apparecchi di macinazione e di concentrazione, a rendimento sempre più elevato.

I combustibili stessi che, per la loro ternaria composizione vennero, latu senso, paragonati al granito (nel quale si presentano magmaticamente associati: quarzo, feldspati ortoclasici e miche, corrispondentemente raffrontati: alla vitrite, alla durite e alla fusite) appaiono ormai, alla stessa stregua dei minerali industriali, nel vasto campo della preparazione meccanica.

Non è quindi lontano il giorno nel quale, vinte difficoltà che parevano insormontabili, si trarranno, anche da essi, concentrati idonei ad una più vasta ed economica utilizzazione. L'affrettare tale momento, costituisce un imperativo categorico, specialmente per un Paese come il nostro, che deve tesaurizzarli.

Perciò, chi scrive, nel fare il punto su così importante problema e nel confortare, coi resultati di laboriose ricerche, la dimostrazione delle possibilità che in tal senso i nostri combustibili fossili presentano, ha soprattutto inteso di risvegliare l'attenzione degli studiosi affinchè anche gli scienziati ed i tecnici minerari italiani, si schierino sul campo di queste assillanti conquiste.

III Gruppo.

PROBLEMI CHIMICI
SUGLI OLI MINERALI

GIUSEPPE PASTONESI

PROCURATORE DELL'AZIENDA NAZIONALE IDROGENAZIONE COMBUSTIBILI

La idrogenazione catalitica dei combustibili per la preparazione di benzine.

SOMMARIO. — *Viene descritta per sommi capi l'attività dell'Azienda Nazionale Idrogenazione Combustibili ed è messo in rilievo il contributo che essa porta alla produzione nazionale di benzina e di olî lubrificanti.*

Infine, sono esposte le caratteristiche e i pregi della benzina per aviazione prodotta negli impianti ANIC, con particolare riferimento alle proprietà antidetonanti.

La preparazione di benzina sintetica è stata decisa per l'Italia, e per il momento, attraverso l'idrogenazione di olî di qualità scadente, in particolare, per idrogenazione di olio grezzo albanese.

Altre questioni riguardo alla lavorazione delle nostre ligniti sono ora alla vigilia di definitive decisioni: non vogliamo anticipare in questa relazione notizie che potrebbero mancare di completezza ed accenneremo solamente alle direttive che sono state impartite in via di massima.

Quindi, ciò che interessa attualmente a noi, come realizzazione e come fabbricazione, è l'idrogenazione degli olî: lo scopo della presente nota è appunto di riassumere quello che è stato fatto, di dare le linee generali e gli sviluppi del processo e di mettere in evidenza, attraverso l'esame dei prodotti ottenuti, le caratteristiche e le proprietà di questi.

***

Il problema italiano della idrogenazione degli olî pesanti a benzina è stato affrontato dall'Azienda Nazionale Idrogenazione Combustibili e risolto con una rapidità tecnica che stabilisce un effettivo primato industriale.

In meno di due anni, sono stati costruiti e messi in quasi completo esercizio i due grandi e moderni impianti di Bari e di Livorno, raggiungendo immediatamente dei risultati tecnici lusinghieri.

E mentre questi impianti erano in costruzione, la Direzione dell'ANIC variava i suoi primitivi programmi cercando di adattarsi sempre più alle necessità che la difesa nazionale esigeva e senza dimenticare, nel medesimo tempo, di tentare di raggiungere un'autonomia economica nell'attività stessa dell'Azienda.

Così, mentre i progetti dei due impianti erano stati tracciati per una produzione complessiva di 240.000 tonn. annue di benzina auto, verso la fine del 1937 veniva ridotta tale produzione a 140.000 tonn. e si decideva di fabbricare contemporaneamente 100.000 tonn. di benzina per aviazione.

L'importanza di questa decisione non ha bisogno di essere spiegata: essa assicura l'alimentazione di carburante all'aviazione e permette la preparazione di un prodotto che ha un prezzo di vendita superiore a quello della benzina auto; quindi, una convenienza economica per l'ANIC.

Verso la metà del 1938, veniva apportata un'altra notevole modifica al programma dell'Azienda: si decideva l'installazione di impianti complementari per la fabbricazione di olî lubrificanti di alto valore attraverso il processo di idrogenazione e quello selettivo; da queste nuove preparazioni, si ha una sottoproduzione di notevole importanza economica: la paraffina.

La potenzialità complessiva di questi prodotti, che fanno parte del programma aggiornato, sarebbe di 90.000 tonn. di olî lubrificanti (concentrati per due terzi a Livorno) e 14.000 tonnellate di paraffina.

Gli olî lubrificanti e le paraffine verranno ottenuti da residui pesanti e paraffinosi che vengono messi sul mercato a condizioni favorevoli.

Secondo quanto scrive G. Fauser, con la valuta corrente allo acquisto di 60.000 tonn. di lubrificanti, noi possiamo acquistare 250.000 tonn. di residui di distillazione di olî paraffinici e da questi ottenere: 60.000 tonn. di olio lubrificante pregiato, 14.000 tonn. di paraffina e 120.000 tonn. di benzina, in buona parte confacente alle severe esigenze dell'Aeronautica [1].

Esaminando solamente con una valutazione grossolana questo raffronto numerico, non può sfuggire l'importanza economica che

---

[1] G. Fauser, « L'Energia termica », VII, 30, 1939.

acquista per l'Azienda e per la Nazione, il definitivo completamento di questo programma.

Abbiamo scritto, forse, troppo presto la parola « definitivo ». Allo stato attuale delle ricerche e delle possibilità di estrazione, i pozzi petroliferi albanesi del bacino del Devoli non possono alimentare che il solo impianto di Bari.

Per assicurare il rifornimento di materiale grezzo allo Stabilimento di Livorno, particolarmente in caso di un conflitto (durante il quale l'importazione di materie prime dall'estero sarebbe assai difficile per non dire impossibile) il Governo fascista avrebbe deciso di sfruttare il nostro patrimonio lignitifero del Valdarno e del Sulcis.

Per non incorrere in una idrogenazione diretta della lignite, che richiederebbe un notevole ampliamento degli impianti ad alta pressione, si ricorrerebbe alla distillazione a bassa temperatura con contemporanea produzione di semicoke e di catrame.

Quest'ultimo verrebbe convogliato allo Stabilimento di Livorno e idrogenato a benzina.

Un'altra produzione è stata decisa in questi ultimi mesi: la preparazione dell'isoottano dalla piroscissione dei gas della raffineria con successiva polimerizzazione e idrogenazione dell'iso- e normalbutilene.

Il diagramma primitivo di lavorazione partendo dal grezzo albanese è già stato ampiamente descritto (1).

Non vogliamo ritornare sull'argomento, per non ripeterci, e riteniamo inutile parlare del compito delle diverse fasi del processo ad alta pressione.

Ma, mentre per l'impianto di Bari il susseguirsi delle operazioni rimane tale e quale quello descritto nella citata pubblicazione, per lo Stabilimento di Livorno esso assume l'aspetto indicato sul grafico della fig. 1, in seguito all'inserimento della preparazione degli olî lubrificanti e della paraffina.

Naturalmente, tale schema è assai semplificato: da esso sono esclusi i trattamenti chimici e le ridistillazioni operate sui diversi prodotti, come non è neppure indicata la stabilizzazione degli olî idrogenati, la preparazione del butano liquido, la separazione dell'idrogeno solforato dai gas della raffineria e la successiva trasformazione di questo in zolfo e in acido solforico.

---

(1) G. Fauser, « La Chimica e l'Industria » XIX, 113, 1937.

Infine, per rendere maggiormente semplice il diagramma, abbiamo tolto la preparazione dell'idrogeno occorrente all'idrogenazione, idrogeno che viene ottenuto per piroscissione degli idrocarburi gassosi su uno speciale catalizzatore, a 800° e in presenza di vapore.

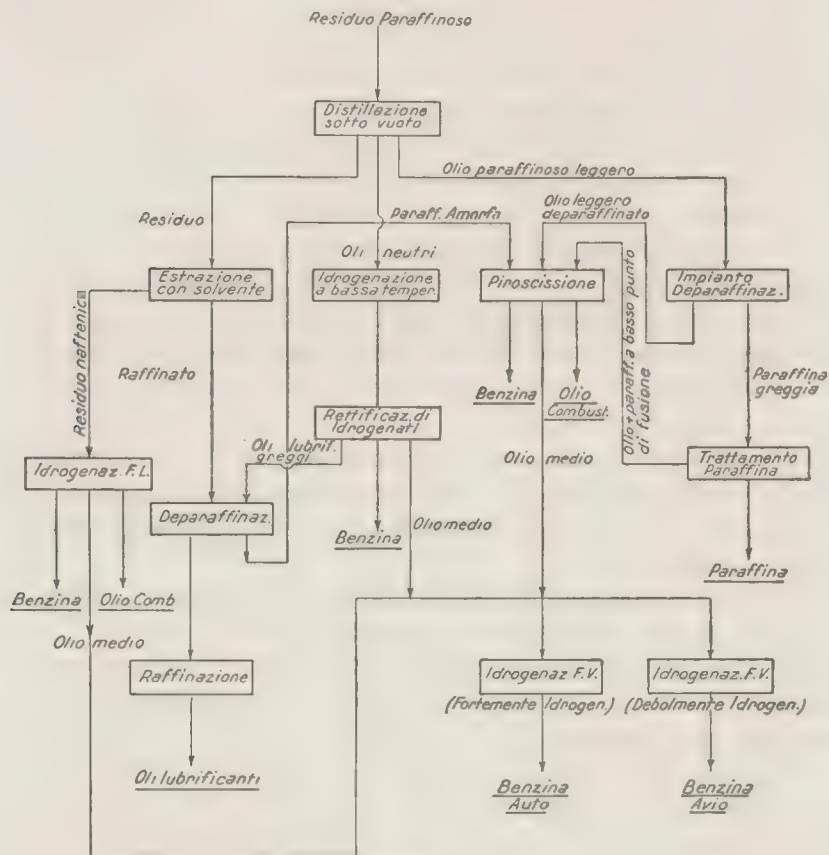



Fig. 1.

Come risulta dallo schema, dopo la distillazione sotto vuoto di un residuo paraffinoso, la preparazione degli olî lubrificanti avviene attraverso due vie: mediante l'estrazione con un solvente che ha il compito di separare le frazioni paraffiniche che forniscono ottimi olî lubrificanti ad elevato indice di viscosità, dalle frazioni nafteniche, la cui presenza negli olî lubrificanti non è certamente gradita.

Le frazioni nafteniche vengono mandate all'idrogenazione in fase liquida, dopo averle separate dal solvente.

L'altra via è seguita per la lavorazione degli olî neutri, meno vischiosi: si tratta di far subire ad essi una idrogenazione su catalizzatore fisso, a bassa temperatura, che ne migliora le proprietà lubrificanti e porta ad una contemporanea e parziale trasformazione degli olî neutri in benzina ed in olio medio. Alla piroscissione vengono mandati gli olî pesanti e le paraffine amorfe ottenute dagli impianti di deparaffinazione.

L'olio medio prodotto dalla fase liquida, dalla fase lubrificanti e dalla piroscissione, viene diviso tra gli impianti di idrogenazione in fase vapore per benzine auto e avio.

L'elasticità degli impianti e l'indipendenza dei diversi reparti permettono di spostare, si può dire, a piacere, la potenzialità di produzione dei prodotti finali. Non solo: particolarmente grazie agli impianti di idrogenazione, sono ammessi alla raffineria gli olî da lavorare i più disparati possibili: dagli olî grezzi, ai residui ed ai catrami.

Sulla fig. 2 è rappresentata la disposizione dello stabilimento di Livorno, senza la sezione lubrificanti attualmente in costruzione.

Come si vede, l'impianto è completato dal reparto piroscissione del residuo: è una piroscissione che viene arrestata alla produzione di olio combustibile, e questi è preparato in una quantità tale che riesca sufficiente a coprire buona parte del consumo di combustibile richiesto per il normale funzionamento dell'impianto — produzione vapore — riscaldamento dei vari forni, ecc.

Nello stesso tempo, tale piroscissione è d'aiuto alla fase liquida poichè sottrae a questa una parte del residuo.

***

Le modalità con le quali vengono condotte le operazioni di idrogenazione e tutti i fenomeni che sono stati riscontrati durante lo svolgersi di queste, sono già state ampiamente descritte (1).

---

(1) M. Pier, *Ueber Hydrierbenzine, Einfluss von Rohstoff, Katalysator und Arbeitsweise.* Relazione presentata al X Congresso Internazionale di Chimica, Roma 1938.

M. G. Levi e A. Mariotti, *Studi e ricerche sui combustibili.* Vol. V, p. 295 R. Politecnico; G. Pastonesi, « La Chimica e l'Industria », XIX, 497, 1937; S. Doldi, « La Chimica e l'Industria », XX, 530, 1938.

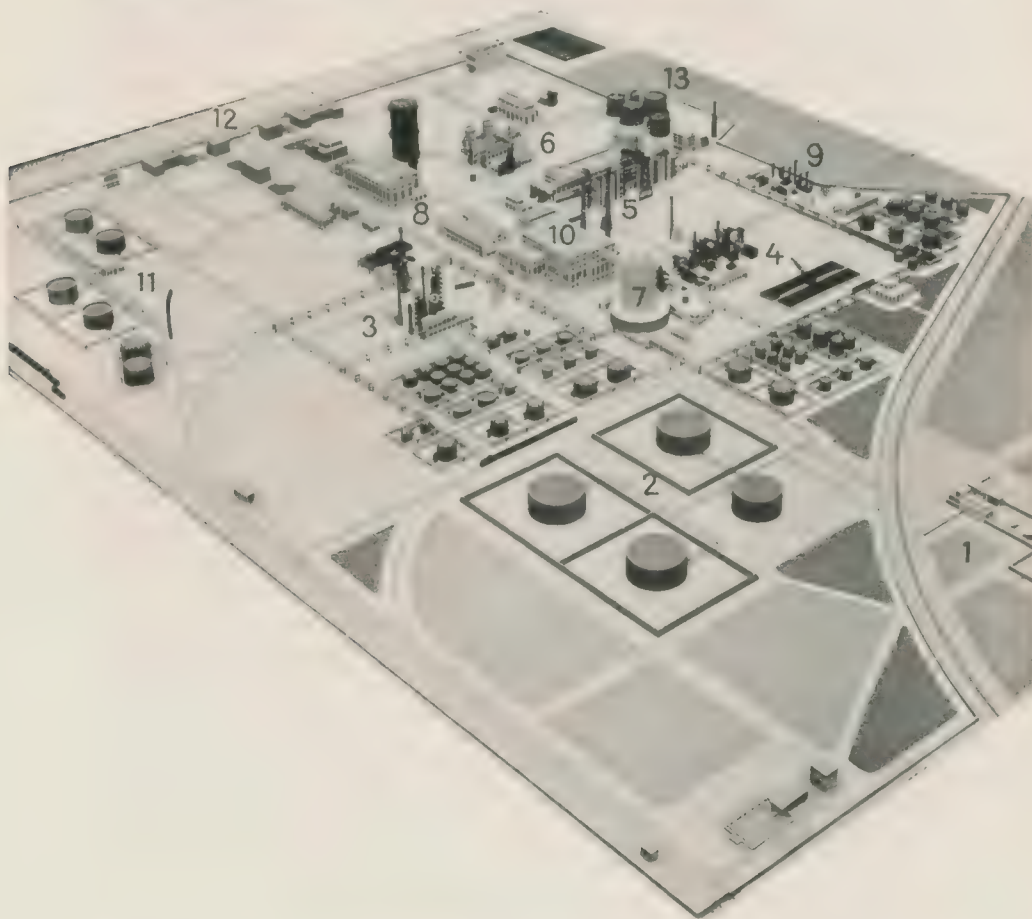
A noi basterà accennare ad alcune importanti considerazioni e, più che altro, riportare alcuni rilievi fatti sui prodotti ottenuti negli impianti ANIC.

1. Cabina pompe al porto; 2. Serbatoi prodotto grezzo; 3. Distillazione; 4. Piroscissione residuo; 5. Idrogenazione; 6. Produzione idrogeno; 7. Torre Hamon; 8. Sala compressori; 9. Stabilizzazione; 10. Centrale termo-elettrica; 11. Serbatoi prodotti finiti; 12. Gruppo uffici, laboratorio, portineria, magazzino; 13. Gasometri.

Fig. 2. — Plastico della Raffineria di Livorno (prima della costruzione degli impianti degli olî lubrificanti).

La fase liquida, che è la sezione del processo di idrogenazione destinata a ricevere i prodotti più pesanti, solidi o liquidi che, data la loro natura, non possono essere portati alla presenza di un catalizzatore fisso, potrebbe essere definita una preidrogenazione, una preparazione del prodotto che deve ricevere il suo aspetto, la sua caratteristica definitiva nella fase vapore.

Infatti, mentre il prodotto ottenuto dall'idrogenazione in fase liquida risente della natura e delle proprietà del materiale grezzo di partenza, quello ricavato dalla fase vapore dimentica le sue origini e dimostra solamente quelle caratteristiche che il catalizzatore impiegato e le condizioni di temperatura e di pressione con le quali si è svolta l'operazione di idrogenazione, hanno saputo imprimergli.

Nella fase liquida, il catalizzatore aggiunto all'olio non può offrire che un'attività molto limitata a causa della sua debole concentrazione; si può osservare, idrogenando prodotti pesanti di diversa natura, che l'incremento di idrogeno riferito al carbonio è sempre costante, qualunque sia la preesistente quantità di idrogeno nell'olio.

Nella fase vapore, l'incremento di idrogeno che subisce l'olio medio per giungere a benzina, si può considerare, invece, assai variabile: si può dire brevemente che, data l'alta attività e l'alta concentrazione del catalizzatore fisso, l'incremento di idrogeno è tanto maggiore quanto più povero è l'olio di partenza.

Fig. 3. — Montaggio di una colonna idrogenazione nello Stabilimento di Livorno (lunghezza m. 18, peso ca. 100 tonn.).

Nella fase vapore, ciò che si può considerare praticamente costante è la quantità finale di idrogeno, cioè la quantità esistente nel prodotto idrogenato.

Quindi, più che altro, ci soffermeremo ad esaminare la parte finale del processo di idrogenazione in raffronto con quelle delle benzine ottenute per altre vie.

Da tale confronto risultano delle considerazioni molto interessanti.

Dalla tabella che riportiamo, si nota subito il peso specifico elevato e il punto di anilina basso, a causa della sensibile percentuale di aromatici, della benzina ottenuta per piroscissione.

Un altro confronto interessante tra le benzine di distillazione, di piroscissione e di idrogenazione avio, per quanto concerne la composizione percentuale delle diverse serie di idrocarburi in

relazione al numero di ottano, conferma che il numero di ottano elevato della benzina avio non può essere dato che dalla presenza di isoparaffinici nei paraffinici [1].

L'azione idrogenante più o meno energica può essere svelata dalla presenza di zolfo: 0,1 % nella benzina di fase liquida, 0,049 in quella della fase vapore avio, e 0,028 in quella ottenuta dalla fase vapore auto dove l'idrogenazione è molto violenta.

La stessa percentuale di idrogeno assai elevata nella benzina auto sta a dimostrare la medesima circostanza.

Si noti, anche, come nella benzina ottenuta dalla fase liquida, malgrado la fortissima percentuale di naftenici, il numero di ottano sia di appena 52: ciò esclude la presenza di catene ramificate nei paraffinici.

La percentuale dei non saturi nelle benzine di idrogenazione può essere definita come la rivelatrice della temperatura alle quali avviene il processo; infatti, nella fase liquida si opera a oltre 450°, a 420 circa nella fase vapore auto, e poco più di 400 qualora si voglia ottenere della benzina avio.

BENZINA PRODOTTA DAL GREZZO ALBANESE DALLA:

	Distillazione primaria	Piroscissione	Fase liquida	Fase vapore (auto)	Fase vapore (avio)
Densità a 15°	0,739	0,742	0,731	0,715	0,720
Numero di Ottano	49	61	52	59	73,4
Punto anilina	54°	50°	49°	64°	54°5
Distillazione:					
Punto iniziale	37°	33°	48°	44°	44°
25 % distillato	37-88°	33-91°	48-90°	44-87°	44-68°
50 % »	37-108°	33-131°	48-116°	44-112°	44-92°
75 % »	37-137°	33-163°	48-140°	44-135°	44-112°
98 % »	37-179°	33-210°	48-185°	44-188°	44-148°
Composiz. della benzina:					
Paraffinici	61,74	59,7	38,0	74,0	61,7
Aromatici	8,3	11,5	tracce	tracce	0
Naftenici	26,46	17,8	54,0	23,0	38,3
Non saturi	3,5	11,0	8,0	3,0	0
Contenuto percentuale in:					
Carbonio	84,23	84,19	84,5	84,10	84,68
Idrogeno	15,07	15,13	14,99	15,88	15,22
Zolfo	0,21	0,71	0,10	0,028	0,049
Tensione vapore (Reid) Kg/cm²	—	—	—	—	0,365

[1] C. Giordani, « Acqua e Gas », febbraio 1938.

Diamo sulla fig. 4 le caratteristiche di una benzina avio prodotta dall'impianto di idrogenazione di Bari con un catalizzatore debolmente idrogenante, da un olio medio di partenza ottenuto per distillazione del grezzo albanese:

CARATTERISTICHE DI UNA BENZINA DI PRODUZIONE A.N.I.C
PER AVIAZIONE

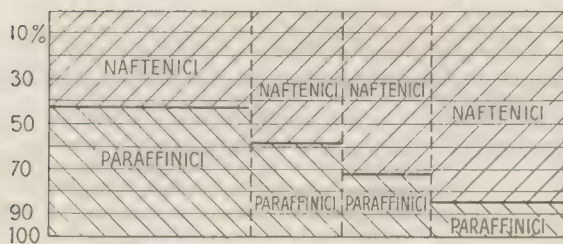
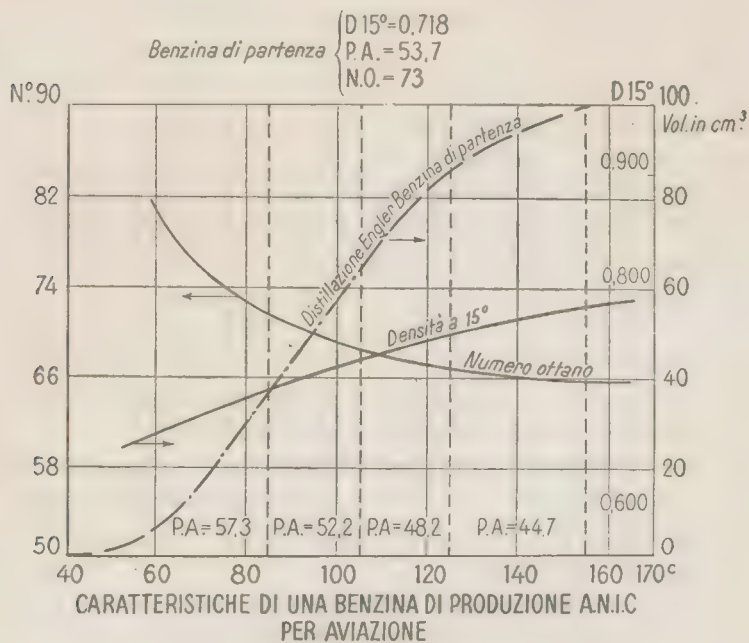



Fig. 4.

Le varie caratteristiche:
- densità
- curva di distillazione Engler
- numero di ottano
- punto di anilina
- composizione della benzina

sono espresse in funzione delle temperature centigrade di distillazione delle diverse frazioni della benzina idrogenata.

Sullo stesso grafico sono indicati i valori complessivi della densità, del punto di anilina e del numero di ottano della benzina prodotta.

La densità, com'è naturale, cresce con le frazioni a punto di ebollizione alto.

Il numero di ottano, che è 82 per le frazioni di testa, si abbassa a 65 per quelle di coda; analogamente si comporta il punto di anilina che scende da 57,3 a 44,7.

Poichè questa benzina non contiene, praticamente, nè aromatici nè non saturi, abbiamo potuto calcolare, direttamente dal punto di anilina, le percentuali di naftenici e di paraffinici delle quali essa è costituita: i naftenici aumentano con la temperatura di distillazione passando da 42,2 a 84,5 %; i paraffinici, al contrario, diminuiscono, passando da 57,8 a 15,5.

Il fatto che per la frazione 55°-85° vi sia un numero di ottano compreso tra 82 e 71 malgrado la presenza di una percentuale di 57,8 di paraffinici, fa necessariamente pensare che questi siano per la maggior parte costituiti da iso-paraffinici.

Questa circostanza è anche confermata dai prodotti gassosi ad alto peso molecolare che si sono formati durante l'idrogenazione in fase vapore e che sono stati condensati allo scopo di produrre il cosiddetto « Liquigas ».

L'analisi frazionata (con l'apparecchio Podbielniak) ha dimostrato la presenza di notevoli percentuali di iso-propano e di isobutano.

Vi è, del resto, una spiegazione teorica a questa constatazione: date le condizioni (temperatura-pressione) alle quali avviene l'idrogenazione in presenza di un catalizzatore debolmente idrogenante, è certamente permesso alla reazione che avviene entro la torre, di volgere, in un primo tempo, secondo quanto avviene in una normale piroscissione (craking); cioè, in modo tale da permettere la formazione di anelli, di nuclei aromatici che vengono saldati nei legami non saturi dall'idrogeno con conseguente formazione di idroaromatici: date le condizioni di temperatura qualche anello aromatico e idroaromatico si può aprire con formazioni ramificate che portano alla presenza di isoparaffinici.

Un'altra caratteristica molto importante della benzina avio prodotta dall'ANIC, è la sua alta suscettibilità alle aggiunte di piombo tetraetile: sulla fig. 5 è riportato l'aumento del numero di ottano in funzione delle aggiunte di Pb $(C_2H_5)_4$ in ‰ sulla benzina: come confronto, è riportata la curva della stessa caratteristica di una benzina di importazione; sia quest'ultima che la

nostra hanno un numero di ottano iniziale di 73; mentre la nostra, con l'aggiunta di 1 ‰ di Pb $(C_2H_5)_4$, acquista un numero di ottano di 89,4, quella di importazione non raggiunge che 87,3.

Molto facilmente ciò è dovuto alla presenza di aromatici nella benzina importata, poichè è noto che la suscettibilità al piombo

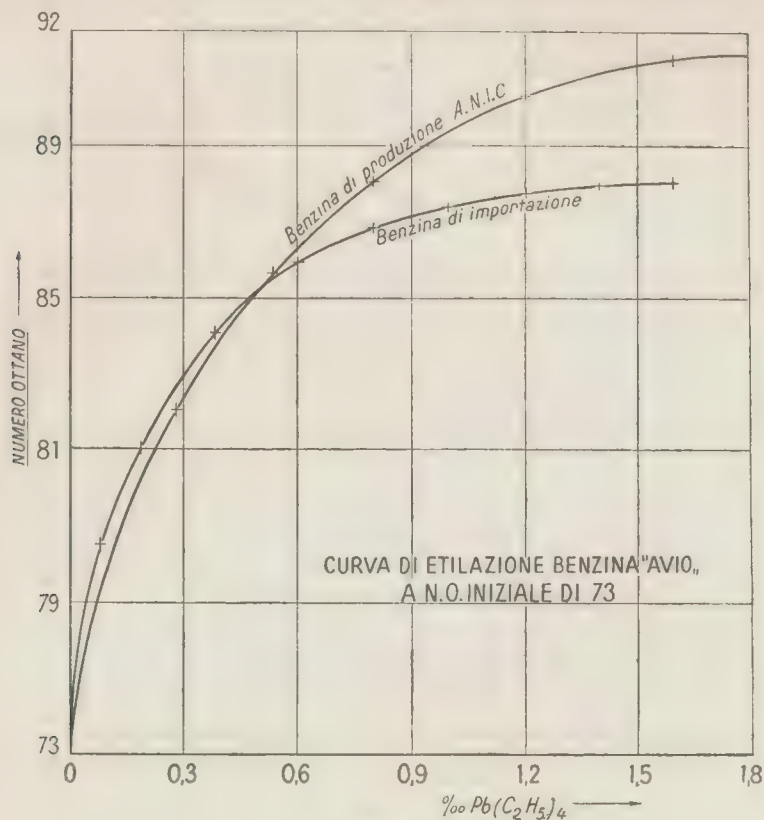



Fig. 5.

tetraetile degli aromatici è la più bassa di tutte le altre serie di idrocarburi (1).

Il fatto che l'ANIC abbia volto la sua attività verso una preponderante produzione di benzina ad alto numero di ottano, oltre a rappresentare un sicuro rifornimento per la nostra Aeronautica, e la vendita di un prodotto di valore commerciale alto (ciò costituisce una diminuzione dell'onere statale poichè la sovvenzione governativa diminuisce), viene a realizzare un risparmio di car-

(1) P. Minard, « Revue Pétrolifère », N. 779, 401 (1938).

burante per la Nazione. Infatti, è noto (¹) che aumentando il numero di ottano di una benzina, si eleva il rapporto di compressione nel motore a scoppio e, quindi, il rendimento termico espresso in Cal per HP.

Secondo A. v. Philippovich (²), il consumo di carburante per HP è di 270 gr. (in un motore d'aviazione) qualora il numero di ottano

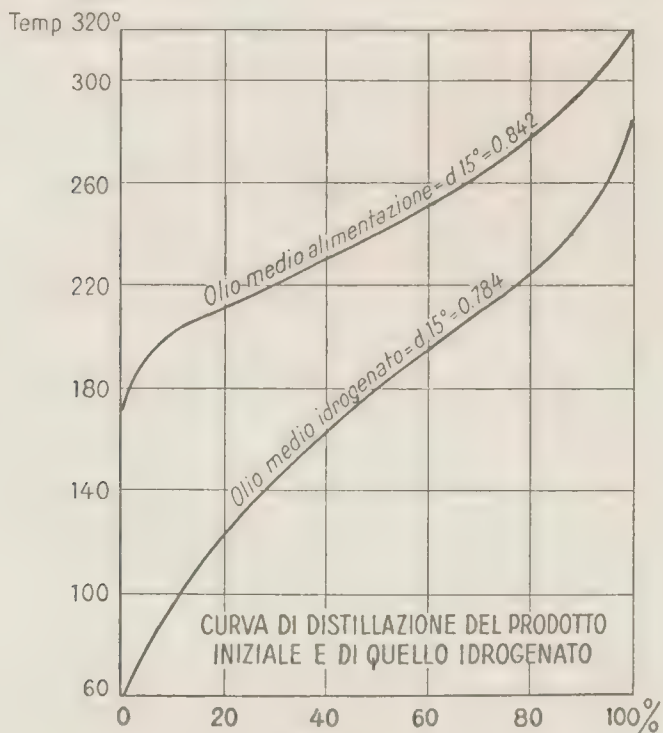



Fig. 6.

sia di 60; diminuisce a 235 gr., qualora si abbia della benzina a N. O. 75, come quella che produce l'ANIC.

Ciò costituisce per lo stesso quantitativo di energia ottenuta, un non indifferente risparmio del 15 % nel carburante.

Non elenchiamo tutti gli altri pregi di purezza e di stabilità delle benzine prodotte per idrogenazione, poichè essi sono stati diffusamente descritti da precedenti autori.

(¹) F. Giordani, « Relazione presentata al X Congresso Internazionale di Chimica ». Roma, 1938.

(²) A. v. Philippovich, « Jb. deutscher Luftfahrtforschung », II, 234, 1936.

Diamo, infine, sulla fig. 6, le curve di distillazione e le relative caratteristiche dell'olio medio idrogenato su un catalizzatore debolmente idrogenante, che conduce cioè alla produzione di un prodotto a carattere naftenico.

Naturalmente, secondo le prescrizioni, il taglio sul prodotto idrogenato, per la benzina avio, va fatto a 150°; la frazione 150-180° può essere separata: alleggerita con prodotti di testa di distillazione o di piroscissione, costituisce un'ottima benzina auto.

La frazione che distilla al disopra di 180° viene rimandata all'idrogenazione.

***

Abbiamo voluto riportare in questa breve rassegna qualche risultato raggiunto nella audace e grandiosa realizzazione delle due moderne raffinerie italiane.

La tranquillità dell'esercizio, la serietà dell'impresa, il nome, la provata capacità tecnica e la disinteressata dedizione delle persone che stanno a capo dell'Azienda sono una certa garanzia per gli sviluppi futuri.

Anche in questo campo, l'Italia ha preso il suo posto di avanguardia e certamente andrà oltre le posizioni conquistate.

GIULIO NATTA

DIRETTORE DEL LABORATORIO DI CHIMICA INDUSTRIALE
DEL R. POLITECNICO DI MILANO

Gasificazione di combustibili Italiani e produzione sintetica di carburanti liquidi dal gas d'acqua.

RIASSUNTO. — *Dal confronto dei diversi procedimenti di gasificazione dei carboni per la produzione di gas d'acqua per sintesi, ossia contenenti ossido di carbonio ed idrogeno nel rapporto 1 : 2, risultano particolarmente interessanti, per la gasificazione dei combustibili nazionali, i procedimenti basati sulla gasificazione con ossigeno e vapore.*

Vengono riportati i risultati della gasificazione di combustibili diversi, ed in particolare quelli ottenuti su alcuni carboni sardi con uno speciale gasogeno ad ossigeno proposto dall'autore. Esso permette di separare i gas di distillazione da quello di gasificazione propriamente detto, permette di ottenere a seconda del combustibile usato e per ogni Kg. di carbone, da 1 a 2 mc. di gas d'acqua, contenente una percentuale di idrogeno doppia di quella dell'ossido di carbonio ed inoltre di ricuperare il catrame distillato.

Dal confronto dei diversi processi di sintesi di carburanti da gas d'acqua, quelli ad alta pressione (sintesi di alcoli) forniscono migliori rese e richiedono minore immobilizzo di capitale rispetto a quelli che operano a bassa pressione (sintesi degli idrocarburi). Viene esaminata inoltre la sintesi degli alcoli superiori ed in particolare la utilizzazione dell'alcool isobutilico di sintesi per la produzione di isottano. Mediante la produzione di 40 gr. di isottano e contemporaneamente di 200 gr. di miscela di alcoli metilico, propilici, amilici, ecc. per mc. di gas risulta possibile utilizzare il gas d'acqua per la produzione contemporanea di combustibili liquidi atti all'impiego rispettivamente come carburanti per avio e per auto.

PRODUZIONE E FABBISOGNO DI IDROGENO. — I quantitativi di idrogeno richiesti oggi dalle industrie delle grandi sintesi e delle idrogenazioni raggiungono cifre veramente imponenti.

In Italia gli impianti di idrogenazione possono assorbire 150 milioni di mc. di idrogeno all'anno, quelli per la sintesi di

ammoniaca oltre 300 milioni, quelli per la sintesi del metanolo 25 milioni di mc., quindi complessivamente ½ miliardo di mc. di idrogeno.

In Germania la potenzialità degli impianti per la sintesi di benzina con il processo Fischer raggiunge già le 350.000 T. annue, che corrisponde ad almeno 4 miliardi di metri cubi di gas d'acqua, contenenti quasi due terzi di idrogeno.

Il fabbisogno di idrogeno per la idrogenazione del carbone, degli olî medi e pesanti raggiunge pure nella stessa Germania cifre dell'ordine di grandezza di miliardi di metri cubi all'anno, dato che la potenzialità degli impianti tedeschi di idrogenazione supera oggi il milione di tonnellate annue.

Mentre in Germania la massima parte dell'idrogeno viene ottenuto per gasificazione del carbone, in Italia si ha solo una relativamente piccola produzione di idrogeno da gas d'acqua, proveniente dalla gasificazione di coke, di carbone di legna e di lignite ed essa è limitata ad alcuni impianti, in parte integrativi, per la sintesi di ammoniaca (a Merano, Vado Ligure, Nera Montoro, Figline Valdarno) e di metanolo (Merano, Nera Montoro). La produzione di idrogeno elettrolitico è limitata ai vecchi impianti; quelli più importanti lo estraggono dal gas di cokeria, mentre per la idrogenazione si usa idrogeno ottenuto dalla decomposizione pirogenica di idrocarburi.

Data la localizzazione dei due grandi impianti dell'ANIC a Bari e a Livorno ed il sistema di lavorazione adottato, che consente di chiudere il ciclo di lavorazione usando come unica materia prima il petrolio greggio, la produzione di idrogeno per tali impianti è impostata esclusivamente sull'utilizzazione dei gas residui del craking, della idrogenazione e della stabilizzazione delle benzine.

Qualora però si volessero impiegare tali gas residui, ricchi di olefine (etilene, propilene, ecc.) e di idrocarburi saturi pure trasformabili per idrogenazione in olefine, per utilizzazioni più nobili, quali ad es. la produzione di benzine di polimerizzazione ad alto potere antidetonante o di altri derivati delle olefine, la sola utilizzazione del metano, sottoprodotto della idrogenazione e del craking, non basterebbe più a coprire il fabbisogno di idrogeno degli impianti stessi.

Oggi la fonte più economica di idrogeno è rappresentata dal gas di cokeria, se considerato come sottoprodotto dell'industria del coke, e se utilizzato in prossimità delle cokerie e limitatamente alla sua disponibilità, dipendente dalla produzione di coke. Una

ulteriore notevole produzione di idrogeno in Italia, che sia veramente autarchica, non può basarsi che sull'impiego di ligniti o di metano naturale, dato che per forti produzioni sono da escludersi per il loro costo i processi elettrolitici.

Le disponibilità di metano, sebbene siano superiori a quanto si riteneva in passato e possano diventare anche maggiori intensificando le trivellazioni, non raggiungono i valori che si riscontrano nei paesi ricchi di giacimenti petroliferi e sono per ora troppo modeste, perchè si possa fare serio affidamento su di esse per una vasta produzione industriale di idrogeno, quale può assorbire un moderno impianto di idrogenazione o di sintesi. Rari sono i pozzi in Italia capaci di garantire sicuramente più di una diecina di migliaia di metri cubi di metano al giorno, e questo è un limite troppo basso per impostare una produzione industriale di benzine e di altri prodotti di sintesi. Inoltre il metano trova già, per le nostre condizioni, applicazioni favorevoli nel suo impiego diretto come combustibile e come carburante.

Si deve perciò rivolgersi alla gasificazione del carbone ed in particolare delle ligniti per nuove importanti produzioni di idrogeno e di gas d'acqua.

Il problema della utilizzazione delle ligniti per la produzione di combustibili liquidi è stato in questi ultimi anni molto discusso anche in Italia, prevalentemente sulla falsariga delle realizzazioni straniere ed in particolare tedesche.

La principale ragione che ha frenato sinora ogni iniziativa importante secondo tali indirizzi è stata l'enorme immobilizzo di capitale che richiedono gli impianti, sia di sintesi diretta, sia di idrogenazione, qualora si adoperino le ligniti, in particolare quelle torbose, come materia prima.

Il problema in Italia si presenta sotto certi aspetti alquanto diverso da quello tedesco, in primo luogo per la mancanza di giacimenti così abbondanti e di tipo costante come quelli della Germania, in secondo luogo per le maggiori spese di estrazione. Non dobbiamo perciò lasciarci troppo influire dagli indirizzi e dalle realizzazioni, sia pure grandiose, effettuate in altri paesi. In Italia si deve evitare l'impiego di procedimenti che non siano razionali e non realizzino un bilancio termico sufficientemente elevato ed una completa utilizzazione di tutti i sottoprodotti.

Non si può pensare alla idrogenazione diretta delle nostre ligniti per il loro alto tenore di ceneri. Dobbiamo perciò limitarci a considerare la distillazione o la estrazione con solventi con successiva idrogenazione della sostanza estratta o distillata, oppure par-

ticolari metodi di gasificazione e impiego del gas d'acqua in processi di sintesi. Della estrazione con solventi si è occupato già in Italia l'ing. Fauser e recentemente ha riferito in altra sede il prof. Roberti sul processo Potte-Broche. Mi limito perciò qui all'esame della gasificazione delle ligniti e delle sintesi dal gas d'acqua.

Io ritengo che siano in particolare i processi di sintesi ad alta pressione quelli che debbono attirare maggiormente la nostra attenzione per i prodotti pregiati, che, come vedremo, possono fornire.

La gasificazione delle ligniti per la produzione di gas d'acqua, da usarsi in sintesi chimiche, non può essere fatta con gasogeni normali, perchè il gas d'acqua resterebbe inquinato con i prodotti di distillazione delle ligniti stesse ed in particolare di metano, occorrerebbe quindi provvedere alla separazione dei prodotti di distillazione od alla loro crackizzazione.

Prima di descrivere i risultati da noi ottenuti nella gasificazione delle ligniti italiane desidero accennare ai principali tipi di gasogeni attualmente applicabili.

GASOGENI A FASI DISTINTE. — Sono stati proposti diversi tipi di gasogeni derivati dai tipi classici. Particolarmente adatti sono quelli nei quali la lignite preessiccata percorre prima una zona di distillazione entro camere verticali riscaldate dal calore sensibile dei gas prodotti nella fase di soffiamento del gasogeno con aria. Il semicoke di lignite così ottenuto viene gasificato in fasi alternate ad aria ed a vapore ed a tale scopo discende nella zona di gasificazione mantenuta a temperatura relativamente alta, nella quale vengono eventualmente convogliati i gas di distillazione, per essere decomposti pirogenicamente in ossido di carbonio ed idrogeno, che si mescolano al gas d'acqua prodotto. I gasogeni funzionano a fasi alternate e presentano quindi tutte le caratteristiche dei gasogeni a produzione discontinua di gas d'acqua.

Il gas della fase di gasificazione con aria può venire utilizzato per la produzione di vapore. Questa può risultare nel complesso maggiore del fabbisogno del gasogeno stesso e dell'eventuale impianto di conversione del gas prodotto e deve naturalmente essere conteggiata nella impostazione di un bilancio economico.

Sono stati costruiti gasogeni di questo tipo completamente automatici e con durata variabile delle singole fasi a seconda del combustibile impiegato e delle caratteristiche del gas che si vuole produrre. Questi gasogeni risultano in genere molto costosi come impianto e come manutenzione, permettono però di ottenere un bilancio termico complessivo assai favorevole.

Il consumo di combustibile, che raggiunge i 0,7 Kg. per mc. di idrogeno usando il coke, si eleva ad 1,5-2 Kg. di combustibile preessicato, nel caso che si usi lignite.

I gasogeni funzionanti a fasi distinte devono per la propria sicurezza di esercizio mantenere una temperatura molto alta nella zona di gasificazione e non possono perciò fornire direttamente dei gas contenenti idrogeno ed ossido di carbonio nel rapporto richiesto per molte sintesi organiche. A tale scopo, oppure per la produzione di idrogeno, il gas d'acqua deve essere sottoposto a conversione. Il costo di tale operazione che risulta notevole, non tanto per il servizio di capitale per l'impianto quanto per il consumo di vapore per l'esercizio, può essere ridotto se si dispone di vapore di ricupero.

Assai noti in Italia sono gli impianti VIAG di gasificazione e conversione, di cui già è stata fatta una applicazione alle ligniti di Valdarno preessiccate, ed i cui risultati definitivi nel senso di produrre gas poveri di metano potranno essere noti soltanto alla fine del prossimo mese.

Mentre in Inghilterra per la produzione di idrogeno per gli impianti di idrogenazione a Billigam sono stati adottati gasogeni di tipo classico alimentati con coke, in Germania invece è stato affrontato con mezzi e con programmi grandiosi anche il problema della gasificazione di ligniti. Per la produzione di gas per la sintesi Fischer sono stati ad es. costruiti, oltre ai gasogeni Didier, anche dei grandiosi gasogeni Koppers. Non sono stati pubblicati sinora particolari dettagliati su tali gasogeni, che forniscono gas poveri di metano perchè gli idrocarburi e le altre materie volatili ottenute nei gas vengono interamente decomposte in camere ripiene di refrattario mantenute a temperatura molto elevata e percorsi alternativamente dai gas di combustione e dai gas da crackizzare. L'apporto di idrogeno proveniente dal craking facilita l'ottenimento di miscele ad alta percentuale di idrogeno.

Gasogeni a marcia continua. — È noto che per la produzione di gas da sintesi è da evitarsi la presenza di notevoli percentuali di azoto. Resta quindi esclusa la possibilità di usare gasogeni alimentati ad aria per una marcia continua, la sola che presenta quelle semplicità e regolarità di funzionamento desiderate dall'industria chimica. Per tali ragioni la costruzione dei grandi gasogeni moderni si è indirizzata o verso la gasificazione endotermica con riscaldamento dall'esterno (gasogeni Didier) oppure verso la gasificazione con miscele di vapore ed ossigeno o con aria arricchita di ossigeno.

Il gasogeno Didier con camera di distillazione e di gasificazione riscaldata dall'esterno riunisce in un unico apparecchio, funzionante a marcia continua, le operazioni della distillazione classica del carbone e della gasificazione del coke con vapore, ed è caratterizzato dal fatto che i prodotti della distillazione percorrono insieme alla lignite in senso discendente la zona di distillazione, si crackizzano nella zona più calda mescolandosi con il gas d'acqua e con il vapore, che viene invece introdotto surriscaldato alla base del gasogeno e ne percorre la zona inferiore in senso ascendente. Si regola l'invio del vapore in modo da scaricare alla base del gasogeno una quantità di coke parzialmente gasificato corrispondente esattamente a quanto ne occorre per produrre in un normale gasogeno la quantità di gas d'acqua occorrente per il riscaldamento del gasogeno stesso. Il rendimento termico è assai buono, tenuto conto che il vapore viene prodotto ricuperando il calore dei gas di riscaldamento del gasogeno stesso.

A causa della crackizzazione dei prodotti della distillazione il tenore in idrogeno è alto, poco meno del doppio di quello dell'ossido di carbonio; la produzione di gas si aggira sui 1000 mc. per T. di lignite gasificata.

Il gasogeno si presta anche alla gasificazione di mattonelle di lignite preessiccate. Ogni installazione comprende numerosi elementi, essendo la produzione di ciascuno di essi assai piccola (circa 2000 mc./giorno) [1]. A meno che non siano stati fatti recentemente ulteriori perfezionamenti ai gasogeni Didier od analoghi, ritengo che le spese di impianto e di manutenzione di gasogeni di questo tipo debbono risultare molto elevate e che sia difficile evitare degli inquinamenti del gas prodotto nel gasogeno con gas di combustione, per le porosità delle pareti di refrattario.

Nella Tabella I sono confrontate le rese ottenute dalla gasificazione di ligniti con il processo Didier, con quelle della gasificazione a fasi distinte.

---

(1) C. Bertelot, *Carburant du Synthèse et de remplacement*, p. 201. Dunod, Parigi 1936.

TAB. I. — **Gas d'acqua di ligniti.**

	Gasificazione a fasi distinte con parziale crakizzazione delle materie volatili	Gasificazione col processo Didier
Lignite	Lignite bruna essiccata al 20 % acqua ed a 4500 Calorie	Mattonelle di lignite bruna a 4800 Calorie
Composizione del gas:		
CO_2	10,0 – 12,0	9,4
O_2	0,1 – 0,2	0,2
CO	33,0 – 35,0	30,5
H_2	47,2 – 50,0	36,5
CH_4	3,0 – 4,5	1,0
N_2	3,0 – 4,5	2,2
Cm Hn	—	0,2
Produzione di gas per T. di lignite: mc.	700	1000
Produzione CO + H_2: mc/T.	500	870
Sottoprodotti: catrame Kg/T.	—	45
Vapore Kg. (per T lignite) .	2000	—

GASOGENI AD OSSIGENO. — La gasificazione con ossigeno era stata già proposta da molto tempo allo scopo di ottenere gas ricchi in ossido di carbonio, ma solo da poco più di un decennio ha avuto larghe applicazioni industriali.

Il notevole consumo di ossigeno e la elevatissima temperatura di reazione, con conseguente usura dei refrattari e fusione totale delle ceneri, fanno sconsigliare quei metodi di gasificazione con ossigeno che operano in assenza o difetto di vapore. Essi sono ormai limitati a qualche piccolo gasogeno per la produzione di ossido di carbonio ad alta concentrazione, richiesta per particolari scopi (fabbricazione di formiati).

Vaste applicazioni hanno invece avuto i gasogeni alimentati con miscele di vapore e di ossigeno contenenti meno del 30 % in volume di quest'ultimo. Essi possono classificarsi in tre categorie:

1) gasogeni funzionanti a relativamente alta temperatura, per la produzione di gas ricchi in CO e H_2, atti alla conversione;

2) gasogeni a bassa temperatura che forniscono direttamente miscele di CO e H_2 nel rapporto 1 : 2, adatti alla gasificazione di carboni reattivi [1];

---

[1] G. NATTA. Brevetto Italiano N. 266.875 (11 febbraio 1928), Brevetto tedesco D. R. P. 614.928 (31 ottobre 1929).

G. NATTA e M. STRADA, « Giorn. Chim. Ind. e Appl. », *14*, 76 (1932).

3) gasogeni ad alta temperatura per combustibile minuto con crackizzazione delle materie volatili (Winkler).

La gasificazione a bassa temperatura si è affermata in Italia prima di ogni altro paese [1] e viene applicata in impianti di sintesi di metanolo, perchè permette di ottenere, senza ulteriore conversione, gas ricchi di idrogeno e con un rapporto tra CO e H_2 vicino o eguale a 1 : 2. La gasificazione a temperatura alta viene applicata prevalentemente per la sintesi dell'ammoniaca, in particolare qualora si gasifica invece che con ossigeno puro e vapore, con miscele di questo e di aria arricchita di ossigeno.

In entrambi i processi 1) e 2) il consumo di ossigeno risulta praticamente identico e precisamente di 0,15-0,16 mc. per mc. di gas d'acqua, qualora si usino combustibili poveri di materie volatili. Nei gasogeni a bassa temperatura si ha un maggior consumo di vapore, che è però largamente compensato dalla eliminazione della conversione e del consumo di vapore per questa.

I gasogeni Winkler si prestano per la gasificazione di carboni contenenti materie volatili, richiedono però un più elevato consumo di ossigeno, che raggiunge i 0,27 mc. per mc. di gas d'acqua.

Dal confronto tra i vari procedimenti risulta evidente il minor consumo di combustibile e la maggior purezza dei gas realizzati negli impianti di gasificazione con ossigeno, rispetto a quelli a fasi distinte. Oltre a tali vantaggi gli impianti di gasificazione ad ossigeno presentano quello importantissimo del minor costo di impianto.

Si può ritenere che il risparmio di costo di impianto e di manutenzione sono tali da compensare largamente la spesa di installazione di un impianto apposito per la produzione dell'ossigeno occorrente per la gasificazione. Naturalmente il vantaggio risulta fortissimo quando si disponga di ossigeno sottoprodotto di altre lavorazioni, quale è il caso degli impianti di Merano.

Per un impianto che produca 100.000 mc. al giorno di gas d'acqua depurato il costo dell'impianto per la produzione dell'ossigeno occorrente per la gasificazione si aggira su 1,5 milioni mentre il gasogeno ad ossigeno propriamente detto non costa oltre le 300.000 lire. Il costo complessivo risulta perciò inferiore a quello di un buon impianto completamente automatico di gasificazione a fasi distinte con impianti accessori.

---

[1] G. Natta, *L'industria dell'alcool metilico e della formaldeide. L'industria Chimica Italiana nel I Decennale del Regime.* Ass. Naz. Chimica, Roma 1932.

Tale risparmio si accentua per impianti di maggior potenzialità per i quali è possibile impiegare dell'ossigeno prodotto molto economicamente coi processi Frankel-Linde recentemente perfezionati. Secondo tali processi il consumo di energia per la produzione dell'Ossigeno si riduce a meno di 0,5 Kwh per mc. di ossigeno, ossia riferendolo al gas d'acqua prodotto a meno di 0,08 Kwh per mc. di gas.

Quando la gasificazione con ossigeno viene condotta per la produzione di gas d'acqua da sottoporsi a successiva conversione, quale è il caso della produzione di idrogeno per la sintesi di ammoniaca, risulta conveniente operare a relativamente elevata temperatura per ridurre il consumo di vapore nel gasogeno.

Solo nel caso di carboni reattivi è possibile ottenere direttamente nel gasogeno stesso delle miscele contenenti CO e H_2 nel rapporto 1 : 2, richiesto per molte sintesi organiche (Metanolo, Benzina Fischer, ecc.) pur realizzando elevate produzioni per metro quadrato di sezione del gasogeno. Tale risultato è ottenuto mantenendo relativamente bassa la temperatura del gasogeno alimentato con un elevato rapporto tra vapore ed ossigeno.

I primi gasogeni di questo tipo sorsero nel 1928-29 in Italia e si dimostrarono di esercizio semplice e sicuro. Li feci costruire io per la Soc. Metanolo al Coghinas in Sardegna e dimostrarono una potenzialità di 5000 mc./giorno cadauno. In seguito e precisamente nel 1933 ne fu costruito uno a Merano della potenzialità di 25.000 mc./giorno.

Nella tabella II sono confrontati i risultati da noi ottenuti nella gasificazione di combustibili diversi con ossigeno e vapore a bassa temperatura allo scopo di produrre gas con rapporto $CO : H_2 = 1 : 2$. Vengono riportati per confronto nella stessa tabella dei dati di gasificazione di ligniti con gasogeni Winkler (BAMAG) e quelli relativi alla gasificazione di carboni ad alta pressione con gasogeni Lurgi [1]. La gasificazione sotto pressione, a parte le difficoltà di esercizio, presenta la caratteristica di fornire gas ricchi di metano, il che è un pregio qualora tali gas si usino come combustibile, ma un inconveniente qualora vengano usati per sintesi.

Il gasogeno, da noi realizzato, permette la distillazione del carbone a spese del calore sensibile del gas di gasificazione e la separazione del gas di distillazione da quello di gasificazione [2].

---

[1] R. Seiden, *Ind. a. Eng. Chemistry.* News Ed. *16*, 535 (1938).
[2] G. Natta. Brevetto Italiano N. 356.468 (3 novembre 1937).

TAB. II. — **Processi di gassificazione continui con ossigeno per la produzione di gas per sintesi.**

	Gasogeni Winkler ad alta temperatura a combustibile minuto (Bamag)		Gasogeno a bassa temperatura a gas unico (Natta)			Gasogeno a due gas (Natta - Rigamonti)		Gasificazione sotto pressione (Lurgi) $p = 8,5$ At.
Combustibile gasificato	Lignite secca 5270 cal.	Semicoke di lignite 5700 cal.	Coke reattivo	Carbone di legna	Antracite	Carbone di Seulli (gas misto)	Bacu Abis (due gas)	Coke
Composizione del gas:								
$CO_2 + H_2S$	17,5	16,5	29,30	25,28	26	27	33	29,3
CO	41,8	42,6	22,23	23,24	24	23,4	15,9	21,9
H_2	37,2	39,0	45,46	46,47	47	45,4	44,2	44,0
CH_4	0,9	0,7	0,5-1	1-3	2-3	0,5	1,9	3,3
N_2	1,0	0,7	1	1-2	1	2,7	3,3	1,5
Rapporto $CO : H_2$	1 : 0,9	1 : 0,9	1 : 2	1 : 2	1 : 2	1 : 2	1 : 2,7	1 : 2
Produzione di gas per T. carbone	1470	1780	2800-3000	2500-3000	2800-3500	1900	1400	
Produzione $CO + H_2$ per T. carbone	1160	1450	1900-2000	1800-2100	2000-2500	1300	850	
Sottoprodotti catrame: Kg.	—	—	—	—	—	—	80 Kg.	
Gas a 2200 cal/mc.	—	—	—	—	—	—	550 mc.	
Consumo per mc. di gas:								
Carbone Kg.	0,68	0,56	0,33-0,35	0,33-0,40	0,3-0,35	0,55	0,75	
Ossigeno	0,27	0,27	0,175	0,15	0,15	0,16	0,20	
Vapore	0,24	0,36	1,3	0,8	1,0	1,5	1,2	
Produzione del gasogeno per mq. di griglia	(1500-4000 ?)		300-500	700-1000	500-700	700	500	

I risultati ottenuti sono interessantissimi e furono comunicati al Congresso Internazionale di Chimica a Roma (1).

Con il carbone di Sculli, ad esempio, si sono ottenute produzioni di mc. 1,9 per Kg. di carbone con un consumo di ossigeno di mc. 0,15/mc. di gas, contenente un rapporto $CO : H_2$ vicino ad 1 : 2.

Anche carboni ricchissimi di materie volatili, quali quello di Bacu Abis, hanno fornito un ottimo gas d'acqua. Il tenore elevato di CO_2 non arreca disturbo perchè è eliminabile facilmente per lavaggio sotto pressione.

Abbiamo ora in montaggio presso l'Istituto di Chimica Industriale del R. Politecnico di Milano un gasogeno semindustriale ad ossigeno a due gas a marcia continua con separazione del gas di distillazione da quello di gasificazione. In tale gasogeno esamineremo tra breve le principali ligniti italiane.

SINTESI DI CARBURANTI DAL GAS D'ACQUA. — È noto che fra tutti i processi di utilizzazione del gas d'acqua la sintesi del metanolo è quella che consente la massima resa, valutata come rapporto tra le energie calorifiche del liquido prodotto e del gas di partenza.

Da 1 mc. di gas d'acqua è possibile ottenere in pratica circa 400 gr. di metanolo, aventi un calore di combustione di 2170 calorie. Col processo Fischer a bassa pressione si hanno solo 100-120 gr. di benzine tra pesanti e leggere per mc. di gas d'acqua (2) e complessivamente si ritrovano solo 1200-1350 calorie in idrocarburi liquidi o solidi delle 3000 calorie possedute in 1 mc. di gas impiegato.

Gli inconvenienti che presenta il metanolo come carburante per il basso potere calorifico e per l'elevato calore di evaporazione si possono ridurre indirizzando la sintesi verso la produzione di alcooli superiori, col vantaggio di ottenere prodotti che, a differenza del metanolo, sono interamente miscibili con le benzine ed agiscono da ottimi leganti del metanolo con le benzine. La produzione di alcooli superiori dal gas d'acqua può essere effettuata, variando i catalizzatori, negli stessi impianti di sintesi del metanolo (3).

---

(1) G. NATTA e R. RIGAMONTI, « La Rivista Italiana del Petrolio », N. *65*, 20 (settembre 1938).

(2) C. BERTELOT e M. HOT, *Technique et économie nouvelle des carburants de Synthese*, p. 247. Dunod, Parigi 1937.

(3) G. NATTA. Brevetto Italiano N. 273.579 (16 ottobre 1928).

G. NATTA e M. STRADA, « Giorn. Chim. Ind. e Appl. », *12*, 169 (1930); *13*, 317 (1931).

G. NATTA e R. RIGAMONTI. *14*, 217 (1932).

Un prodotto, ad esempio, costituito da una miscela di 2 parti di metanolo ed una di alcooli superiori (in prevalenza isobutilico) è miscibile in tutti i rapporti con la benzina ed ha un potere calorifico di 6500 cal/Kg. Una miscela a volumi eguali di metanolo di alcooli superiori di sintesi ha invece un potere calorifico di circa 7000 cal./Kg. quasi eguale a quello dell'alcool etilico.

L'impiego di tali miscele presenterebbe notevoli vantaggi rispetto al metanolo, che potrebbero forse compensare il maggior costo degli alcooli superiori rispetto al metanolo di sintesi. Prove effettuate su motori con miscele di benzine, metanolo, alcooli superiori hanno fornito risultati veramente soddisfacenti [1].

SINTESI DELL'ISOTTANO. — Tra i prodotti ottenuti nelle sintesi degli alcooli superiori è presente in prevalenza l'alcool isobutilico, che può rappresentare circa il 50 % degli alcooli superiori ed il 15-20 % degli alcooli totali (compreso il metanolo).

L'alcool isobutilico è trasformabile per disidratazione catalitica con rese praticamente quantitative in isobutilene, che come è noto, è la materia prima per la produzione del di-isobutilene e quindi dell'isottano. Risulta quindi per questa via la possibilità di produrre isottano per sintesi dal gas d'acqua.

A tale scopo ho elaborato, in collaborazione con M. Baccaredda, un procedimento per la dimerizzazione dell'isobutilene, in fase gassosa, che ha fornito risultati molto interessanti [2], in confronto agli altri procedimenti noti. Esso si basa sull'impiego di un catalizzatore solido e di uno gassoso e permette di avvicinarsi all'equilibrio termodinamico, anche a temperature relativamente basse, e con brevi tempi di contatto. La polimerizzazione è completamente selettiva e può essere applicata anche a miscele di olefine provenienti da altre materie prime. A tale scopo l'esame di questo procedimento è stato ripreso recentemente dal prof. Roberti nel laboratorio di ricerche dell'AGIP riconfermando i nostri risultati ed estendendoli alla polimerizzazione selettiva dei gas di cracking.

La quantità di isottano che proverrebbe dalla utilizzazione dell'alcool isobutilico ottenibile per sintesi dal gas d'acqua potrebbe raggiungere 50 gr. di isottano per mc. di gas d'acqua, ma si deve prudenzialmente ritenere 40 gr. Bisogna però tener pre-

---

(1) G. NATTA, « Oesterr. Chem. Zeit. », 1 (1937). — « La Chimica e l'Industria », *20*, 185 (1938).

(2) G. NATTA e M. BACCAREDDA, « La Rivista Italiana del Petrolio », N. 65, 14 (settembre 1938). — Brevetto Italiano N. 360.585 (26 marzo 1938).

sente che si hanno inoltre in tal caso più di 200 gr. di miscela di alcool metilico ed alcooli superiori (propilici, amilici, ecc.) come sottoprodotti utilizzabili come carburante da auto.

La quantità di isottano ottenibile per questa via equivale in peso a più della metà della benzina leggera ottenibile col processo Fischer. Questo risultato è da ritenersi molto interessante, tenendo presente che l'isottano è un prodotto ben più pregiato della benzina di sintesi, avendo un numero di ottano 100 invece di 55 e considerando che si hanno come sottoprodotti 200 gr. di alcool per mc. di gas. È vero che dalle benzine Fischer si riesce ad ottenere attraverso un cracking in fase vapore una benzina a numero di ottano soddisfacente, ma ciò naturalmente va a scapito delle rese.

Inoltre nel confronto tra processi di sintesi a bassa ed alta pressione risulta nel secondo caso un molto minore immobilizzo di impianti. Mentre gli impianti a bassa pressione richiederebbero in cifra tonda un immobilizzo di 2 milioni di lire per Tonn. giorno di prodotto, nei processi ad alta pressione tale immobilizzo si riduce a circa la metà nel caso di impianti aventi una potenzialità di qualche diecina di tonnellate giorno e può ridursi per produzioni maggiori.

TAB. III. — **Combustibili liquidi ottenibili per sintesi da 1 m³ di gas ($CO + 2H_2$).**

	Sintesi Metanolo (Natta) (1)	Sintesi alcooli sup. (Natta) (2)	Sintesi alcooli sup. (Natta) e isottano (3) (Natta-Baccaredda)	Sintesi benzine (Fischer) (4)
Metanolo (N° ottano 120): gr.	400	190	150	—
Alcooli superiori (N° ottano > 100): gr.	—	95	60	—
Isottano (da alc. isobutilico) (N° ottano 100): gr. . .	—	—	40	—
Idrocarburi leggeri (N° ottano 55): gr.	—	—	—	73
Idrocarburi pesanti. . . .	—	—	—	23,3
Paraffina	—	—	—	10
Potere calorifico super. complessivo dei prodotti ottenuti da 1 m³ di $CO + H_2$	2170	1850	1750	1200

(1) Dati pratici da impianti industriali.
(2) » » da prove semindustriali.
(3) » risultanti da prove di laboratorio.
(4) » industriali.

Nella tabella terza sono paragonate le rese dei diversi processi di sintesi dal gas d'acqua, di cui solo due, quello della sintesi del metanolo, e quello della benzina Fischer hanno avuto sinora grandi applicazioni industriali.

Dai nostri risultati semindustriali di sintesi degli alcooli superiori e dalle successive prove di polimerizzazione dell'isobutilene si deduce che la produzione di alcooli superiori e la loro trasformazione in benzine di polimerizzazione possono presentare un grande interesse per i prodotti pregiati che forniscono. Esse meritano oggi un particolare esame, allo scopo di produrre da una parte carburanti centottanici per l'aviazione e dall'altra alcooli di sintesi per migliorare il numero di ottano dei carburanti per auto.

Si apre così una nuova via per la utilizzazione delle ligniti, in particolare di quelle più povere, che solo attraverso la gasificazione in prossimità delle loro miniere possono venire integralmente e razionalmente utilizzate e trasformate in prodotti pregiati, di grande interesse autarchico.

MARIO BACCAREDDA

RELATORE DEL CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

Sintesi del diisobutilene e di benzine isottaniche da olefine sintetiche e di piroscissione.

RIASSUNTO. — *Vengono presi in esame i diversi metodi di produzione dei carburanti a numero di ottano elevato, e in particolare i processi di polimerizzazione catalitica degli idrocarburi olefinici gassosi per la produzione di benzine isottaniche. I sistemi noti vengono confrontati, dal punto di vista delle rese ottenibili, della costituzione dei prodotti e della durata e rigenerabilità del catalizzatore, con un nuovo processo catalitico, studiato dall'A., che presenta favorevoli caratteristiche.*

Tale processo si svolge in fase gassosa ed a pressione ordinaria e risulta perfettamente selettivo per l'isobutilene, che può venire trasformato in isottene, con rese complessive quasi quantitative.

Si esaminano le possibilità di applicazione dei metodi di polimerizzazione selettiva alle miscele di gas di piroscissione e di raffineria degli impianti italiani, e quelle di una produzione di isobutilene sintetico, nei riguardi degli immediati fabbisogni di carburanti centottanici dell'Aviazione militare.

La fabbricazione dei carburanti ad elevato numero di ottano può essenzialmente essere realizzata attraverso i seguenti cinque metodi:

1) trattamento di benzine attraverso particolari processi termici capaci di arricchirle in prodotti antidetonanti (idrocarburi aromatici);

2) idrogenazione di residui o di olii greggi con produzione di benzine particolarmente ricche di idrocarburi naftenici;

3) aggiunta alle normali benzine di distillazione e di piroscissione di piccole quantità di prodotti ad elevatissime proprietà antidetonanti (piombo tetraetile, ferro-pentacarbonile).

4) polimerizzazione o alchilazione delle frazioni C_2-C_4 dei gas naturali, di piroscissione e di raffineria attraverso processi non selettivi, in carburanti ad elevato numero di ottano.

5) produzione di carburanti a numero di ottano cento o superiore a cento (isottano, etere isopropilico, ecc.).

Mentre per soddisfare le nuove esigenze dei traffici terrestri è prevedibile sia sufficiente l'elevamento del numero di ottano delle benzine conseguibile mediante l'adozione dei primi quattro metodi citati, per i bisogni dell'aviazione, e in particolar modo di quella militare, si prevede la necessità di disporre di carburanti centottanici.

In tal caso infatti, sul vantaggio della riduzione del consumo specifico predomina quello, più importante, dell'aumento di autonomia o quello dell'aumento di potenza, altrettanto essenziale. Ciò fa sì che oggi si tenda ad adottare esclusivamente i carburanti centottanici per l'alimentazione dei motori di aviazione.

D'altronde le benzine ad elevato numero di ottano ottenute mediante i processi termici citati sopra devono prevalentemente tale loro proprietà al notevole contenuto in idrocarburi aromatici. Questi, per la scarsa stabilità delle loro miscele alle basse temperature non sono molto adatti all'alimentazione dei motori di aviazione. D'altronde il loro uso, per il loro minore potere calorifico, frustrerebbe in parte il vantaggio della maggiore autonomia conseguita dal motore attraverso l'aumento del rapporto di compressione.

L'impiego dell'isottano puro come carburante non è però praticamente realizzabile a causa della sua temperatura di ebollizione relativamente elevata (99°,4); esso va mescolato a frazioni più leggere il cui numero di ottano viene elevato sino a cento attraverso l'aggiunta di antidetonanti. Una miscela centottanica correntemente adottata negli Stati Uniti è costituita da isottano e benzina a numero di ottano 74 in proporzioni pressochè eguali e dal 10 % di isopentano con l'aggiunta del 0,8 ‰ circa di piombotetraetile.

Nel corso del 1938 tali miscele centottaniche sono state adottate dall'aviazione militare americana, mentre si prevede che entro pochi anni anche l'aviazione civile dovrà orientarsi prevalentemente verso analoghe miscele. In conformità di ciò la produzione di benzina centottanica negli Stati Uniti dovrebbe aver raggiunto lo scorso anno la cifra di un milione di tonnellate; tale cifra si prevede venga ad essere triplicata entro il 1940.

Le materie prime destinabili alla produzione di isottano sono in primo luogo l'isobutilene e l'isobutano contenuti nei gas di piroscissione e di raffineria. Il primo può essere dimerizzato a diisobutilene e quest'ultimo successivamente idrogenato ad isot-

tano. Il secondo può essere deidrogenato ad isobutilene, oppure può essere fatto reagire con quest'ultimo, per fornire direttamente isottano attraverso una reazione di alchilazione.

Si può inoltre giungere direttamente ad isottano partendo da solo isobutilene operando in presenza di idrogeno e realizzando quindi una contemporanea polimerizzazione e idrogenazione.

I processi di polimerizzazione possono essere selettivi nei riguardi della frazione iso-C_4, e conducono allora anche in presenza di olefine a catena normale, a prodotti contenenti solo isottene ed isottano. I processi non selettivi polimerizzano anche le olefine normali ma conducono a prodotti che idrogenati presentano una percentuale variabile di isottano e quindi numero di ottano più o meno prossimo a cento.

L'isobutilene da destinarsi alla fabbricazione dell'isottano può anche essere ottenuto sinteticamente, attraverso la produzione di alcoole isobutilico, per sintesi ad alta pressione dal gas di acqua, accanto a metanolo e altri alcooli; l'alcoole isobutilico può essere disidratato cataliticamente ad isobutilene.

Lo studio dell'applicazione delle reazioni di polimerizzazione delle olefine alla produzione di benzine isottaniche ha avuto fortissimo impulso in questi ultimi anni; negli Stati Uniti il problema è stato affrontato dal punto di vista tecnico principalmente da Egloff, Ipatieff e dai loro collaboratori della Universal Oil Products Company. Nella letteratura tecnica si contano oltre trecento lavori e brevetti sull'argomento.

La gran parte dei procedimenti proposti si svolge in presenza di catalizzatori: acido solforico o acidi derivati; acidi fosforici o fosfati metallici; alogenuri di elementi a deboli proprietà basiche; ossidi o sali metallici a proprietà adsorbenti; metalli liberi. Sono però frequentemente proposti anche processi non catalitici.

Confrontiamo fra loro i diversi procedimenti in base alle loro caratteristiche nei riguardi della produzione delle benzine isottaniche: resa di trasformazione, costituzione dei prodotti, consumo di catalizzatore e possibilità di rigenerazione di questo, possibilità di azione selettiva del medesimo nei riguardi delle isolefine.

Il metodo di polimerizzazione con acido solforico si svolge in fase liquida a pressione ordinaria o poco elevata; i migliori risultati sembrano aversi attraverso l'assorbimento selettivo a freddo con acido mediamente concentrato e successiva polimerizzazione a caldo. Con acido concentrato e a bassa temperatura il metodo è applicabile alla reazione di alchilazione dell'isobutano con le olefine. Il principale pregio del processo risulta dalla pos-

sibilità di limitare la formazione di prodotti pesanti; sono invece elementi sfavorevoli la difficoltà di rigenerazione dell'acido, il notevole volume necessario agli impianti di assorbimento e il pericolo di corrosione degli apparecchi metallici da parte dell'acido.

I processi basati sull'impiego di acidi fosforici presentano migliori caratteristiche per quanto riguarda la rigenerabilità del catalizzatore; nei più recenti brevetti questo è costituito da acido pirofosforico su rapporto solido poroso e può essere rigenerato per calcinazione in presenza di adatte miscele di aria e vapor di acqua. Il processo si svolge generalmente a pressione elevata e in fase liquida.

I tempi di contatto necessari per il raggiungimento di alte rese di trasformazione sono però notevoli, e conseguentemente il prodotto è costituito da una vasta gamma di polimeri di diverso peso molecolare, e il catalizzatore non risulta attivo nella reazione di alchilazione delle isoparaffine con le olefine.

La selettività rispetto alle diverse olefine può essere in compenso facilmente conseguita variando le temperature e le pressioni.

I metodi catalitici che impiegano alogenuri anidri (cloruro di alluminio, cloruro di zinco, fluoruro di boro) eventualmente attivati con piccole quantità di acidi alogenidrici, si svolgono viceversa in generale a pressione ordinaria e risultano soddisfacenti dal punto di vista della elevata attività del catalizzatore sia riguardo alle olefine che alle paraffine, e della selettività, che può essere realizzata con una opportuna scelta della temperatura. Sono viceversa assai poco consigliabili tanto dal punto di vista della costituzione dei prodotti che dal punto di vista del consumo di catalizzatore; è infatti impossibile impedire la formazione di prodotti pesanti, in parte combinati col catalizzatore e che non possono essere separati da questo che attraverso la sua decomposizione.

I catalizzatori a base di allumina, gelo di silice, caolino, silicati, ecc. presentano attività assai variabili non solo a seconda della loro composizione ma anche a seconda del loro modo di preparazione. Tale attività è sempre assai minore di quella presentata dai catalizzatori fin qui citati, tanto che in generale i relativi processi si svolgono a pressioni notevolmente elevate e attraverso tempi di contatto assai lunghi. Inoltre questi catalizzatori non sono selettivi, non sono applicabili alla alchilazione delle paraffine, forniscono prodotti a peso molecolare assai elevato e, specie se inizialmente dotati di notevole attività, la perdono rapidamente col funzionamento e non sono capaci di riacquistarla per calcinazione.

I processi catalitici a base di metalli liberi presentano caratteristiche analoghe, evidentemente a causa della scarsa attività di tali catalizzatori, ai processi non catalitici che si svolgono attraverso trattamenti termici a pressioni e temperature generalmente elevate. Gli uni e gli altri non sono nè selettivi nè applicabili agli idrocarburi saturi se non attraverso una preventiva o contemporanea deidrogenazione.

La polimerizzazione è sempre accompagnata da una piroscissione più o meno notevole che porta a formazione di notevoli quantità di gas permanenti; tali processi sotto questo punto di vista rientrano già nei classici procedimenti di cracking. In generale i prodotti liquidi contengono percentuali basse di isotteni, anche con gas di partenza ricchi in frazioni iso-C_4; l'elevato numero di ottano del prodotto è prevalentemente dovuto alla presenza di notevoli quantità di idrocarburi aromatici, la cui formazione è favorita dalle temperature elevate.

Sono stati infine proposti alcuni processi che impiegano catalizzatori gassosi: anidride solforosa, cloro, ossigeno, alogenuri alchilici, talvolta in presenza di catalizzatore solido. Manca però nella letteratura qualsiasi lavoro che ne illustri le reali possibilità e dobbiamo quindi limitarci a ricordarli.

Un nuovo metodo, elaborato lo scorso anno dal prof. Natta e da me presso l'Istituto di Chimica Industriale del R. Politecnico di Torino, impiega l'azione catalitica di piccole quantità di acido cloridrico nella dimerizzazione dell'isobutilene in fase gassosa, in presenza di un catalizzatore solido (allumina), attivato preventivamente per calcinazione. Esso si svolge a pressione ordinaria e a temperature comprese fra 100° e 220°. In tali condizioni il metodo risulta perfettamente selettivo nei riguardi della frazione iso-C_4; nel caso della dimerizzazione dell'isobutilene il prodotto risulta costituito da diisobutilene, triisobutilene e cloruro di isobutile.

Limitando la concentrazione del catalizzatore gassoso sotto l'uno per cento del gas di partenza e i tempi di contatto ad alcuni secondi e operando a temperature comprese fra 180° e 200° la percentuale di diisobutilene col prodotto può superare l'ottantacinque per cento, mentre le rese di trasformazione ad ogni passaggio variano dal 30 al 40 % dell'isobutilene introdotto.

Il resto del prodotto liquido è costituito quasi interamente dal trimero dell'isobutilene con piccole quantità di cloruro di isobutile. Quest'ultimo può rientrare in ciclo assieme all'isobutilene ed all'acido cloridrico inalterati essendo capace di funzionare a sua volta da catalizzatore gassoso, scindendosi parzial-

mente in presenza di allumina, alle temperature indicate, in acido cloridrico ed isobutilene.

Il triisobutilene inoltre può essere trasformato con rese praticamente quantitative in una miscela equimolecolare di diisobutilene ed isobutilene a temperature comprese fra 200° e 300° e in presenza di un catalizzatore (allumina, caolino, bentonite) con elevata velocità di reazione.

La resa del processo complessivo di trasformazione dell'isobutilene in isottene attraverso il nuovo metodo proposto, risulta perciò praticamente quantitativa.

Il catalizzatore solido, pur diminuendo di attività durante il funzionamento a causa di piccole quantità di prodotti pesanti che vi si separano, può funzionare per diverse ore e può infine essere facilmente ed integralmente rigenerato per un numero indefinito di volte per semplice calcinazione all'aria a 400°-450°.

Svolgendosi la reazione con gas preessiccati, nessuna preoccupazione può sussistere circa un'eventuale azione corrosiva dell'acido cloridrico sulle parti metalliche degli apparecchi.

Tale processo è applicabile senza altre modifiche, che quelle relative alla scelta degli «optimum» di temperatura, concentrazione del catalizzatore gassoso e tempo di contatto, sia alle miscele contenenti oltre all'isobutilene anche isobutano, sia alle miscele più complesse contenenti anche altri idrocarburi, ottenendosi in ogni caso un prodotto costituito solo da isottene, isottano e triisobutilene.

L'impiego di miscele gassose a basse percentuali di isobutilene ed isobutano può anche essere facilitato mediante un moderato aumento della pressione.

In condizioni di temperatura all'infuori dei limiti citati è possibile anche la polimerizzazione delle olefine a catena normale.

Veniamo ora ad esaminare le possibilità nazionali nella produzione di carburanti centottanici.

Ammesso un fabbisogno di 100.000 tonnellate annue per l'aviazione militare e supposta l'adozione di una miscela al 40 % di isobutano, 50 % di benzina a 74 ottani, 10 % di isopentano, col 0,8 ‰ di piombo-tetraetile, ne risulterebbe un fabbisogno di 40.000 tonnellate di isottano, di 10.000 tonnellate di isopentano e di 80 tonnellate di piombo-tetraetile.

La disponibilità delle 50.000 tonnellate di benzina a 74 ottani è assicurata dalla attuale potenzialità degli impianti dell'ANIC.

Per la fabbricazione del piombo tetraetile, le iniziative sorte in questi ultimi tempi, lasciano sperare in una non lontana soluzione del problema.

La fabbricazione dell'isottano non è stata invece sinora avviata verso alcuna realizzazione. Solo l'ANIC pare abbia in programma di realizzare una produzione di ca. 6000 T/anno di benzine isottaniche, applicando la polimerizzazione mista alla frazione C_4 dei gas prodotti nello stabilimento di Livorno.

La disponibilità attuale di isobutilene ed isobutano per la fabbricazione di isottano è certamente assai limitata; qualora però tutte le maggiori raffinerie potessero, mediante adatti impianti di stabilizzazione, isolare le frazioni C_3 e C_4 dei gas di piroscissione, si può ritenere che tale disponibilità si avvicini complessivamente, come ordine di grandezza, alle 20.000 tonnellate annue.

Attualmente l'isobutilene e l'isobutano contenuti nei gas di piroscissione di Bari, Napoli e Porto Marghera vengono compressi in bombole assieme alle frazioni meno pregiate e venduti come combustibile domestico.

La destinazione dell'isobutano e dell'isobutilene alla fabbricazione di isottano rappresenta certamente il loro impiego più razionale; le frazioni C_3 e le C_4 a catena normale che contemporaneamente si otterrebbero, non mancherebbero di trovare la loro migliore utilizzazione, facilitando la soluzione di altri problemi autarchici.

Altra importante sorgente di isobutilene potrebbe essere rappresentata dalle fabbriche di metanolo. Qualora si alcalinizzassero i catalizzatori colà impiegati, circa un quarto del metanolo prodotto potrebbe essere sostituito da alcoole isobutilico, che si può cataliticamente disidratare, con rese praticamente quantitative, ad isobutilene.

Ciò implicherebbe naturalmente un maggiore potenziamento delle attuali fabbriche di metanolo.

Infine le stesse frazioni C_2, C_3 e C_4 a catena normale di una parte dei gas di piroscissione, sottoposte a processi non selettivi di polimerizzazione e di isomerizzazione potrebbero essere trasformate in benzine a numero di ottano più o meno prossimo a cento, riducendo ancora la nostra deficenza in tale vitalissimo settore.

In conclusione il problema della fabbricazione dei carburanti centottanici in quantità prossima agli immediati bisogni della aviazione presenta in Italia serie possibilità di soluzione; occorre passare all'azione per rendere utilizzabili a tale scopo le materie prime che attualmente, per incompleta attrezzatura tecnica, non siamo in grado di destinare al loro migliore impiego.

Discussione sulle comunicazioni riguardanti la preparazione sintetica dei carburanti liquidi

(*6 Maggio 1939*).

Il prof. NATTA *con riferimento alle affermazioni del prof. Pastonesi, che la utilizzazione delle ligniti, basata sulla gasificazione e sulle sintesi dal gas d'acqua, sia da ritenersi poco economica rispetto alla distillazione a bassa temperatura delle ligniti stesse e idrogenazione del catrame, osserva che molte ligniti nazionali ed in particolare le ligniti torbose forniscono una bassa resa in catrame* (*2-5 %* *per il combustibile umido*). *Rese più alte si hanno dai carboni dell'Arsa e da quelli di Bacu Abis, che trovano già larghi impieghi diretti.*

La distillazione a bassa temperatura deve essere considerata un processo per la produzione di semicoke di lignite da usarsi come combustibile solido, il catrame essendo un sottoprodotto. Tale processo è perciò strettamente legato alla utilizzazione del semicoke.

A suo giudizio non è possibile risolvere dal lato quantitativo il problema della produzione autarchica di combustibili liquidi, e nemmeno contribuirvi in modo notevole, idrogenando solo il catrame di ligniti.

Mediante la gasificazione ed i processi di sintesi a bassa e media pressione si riesce ad ottenere oggi 1 tonnellata di combustibili liquidi ogni 8,5 tonnellate di lignite preessicata, e tale consumo si ridurrebbe a meno della metà ricorrendo ai processi di sintesi ad alta pressione. Ricorrendo invece alla distillazione ed idrogenazione del catrame, occorre distillare da 15 a 40 tonnellate di ligniti torbose per ottenere 1 tonnellata di olî idrogenati. È da tener presente che certi processi di gasificazione permettono di ricuperare tutto il catrame di distillazione e in questo caso i processi di sintesi e di idrogenazione possono integrarsi vicendevolmente.

Il prof. PASTONESI *rispondendo alle considerazioni del prof. Natta, informa che sono in progetto impianti di distillazione a bassa temperatura delle ligniti di Valdarno, allo scopo di produrre del catrame che verrà idrogenato a Livorno.*

Per quanto riguarda la resa in catrame, la percentuale distillata potrà aumentare notevolmente in seguito agli sviluppi del processo Pott-Broche, e questo è anche confermato dagli esperimenti fatti dal prof. Levi e dai suoi Collaboratori sulla lignite di Valdarno.

Riferendosi alla relazione dei proff. Roberti e Baccaredda sulla produzione dell'iso-ottano, egli ritiene che se tutto il butano prodotto a Bari e a Livorno, invece di essere venduto come combustibile del tipo Liquigas, venisse trattato con piroscissione, si potrebbe ottenere del butilene, il quale, polimerizzato e successivamente idrogenato darebbe degli ottani misti per un quantitativo dell'ordine di 6000 *tonnellate annue.*

Il prof. ROBERTI *dichiara che, a suo avviso, il processo Natta-Baccaredda per la produzione di iso-ottano dal di-isobutilene presenta notevoli pregi per la semplicità degli apparecchi, con i quali la reazione si può condurre, e per la facilità di rigenerazione del catalizzatore.*

Per ottenere le più alte rese possibili di iso-ottano dal gas di piroscissione si può far seguire la polimerizzazione selettiva dell'isobutilene secondo il procedimento Natta-Baccaredda, o la polimerizzazione mista di cui ha parlato Pastonesi, con la reazione fra isobutano e butilene in presenza di acido solforico al 97 % che è stata studiata da Dunstan e collaboratori.

Il prof. Roberti, riferendosi all'oggetto della sua Relazione, che viene qui appresso inserita osserva che le determinazioni di numeri di ottano eseguite nel Laboratorio chimico dell'A. G. I. P. su sostanze che il metodo di preparazione esclude per ora dal pratico impiego, meritano di essere considerate, non solo per il loro interesse teorico, ma, soprattutto, come parte di un programma di ricerche, tendenti a risolvere il problema della preparazione di un carburante ad elevato numero di ottano, partendo da composti a 3 atomi di carbonio, per i quali vi sono certamente maggiori possibilità di ottenimento, che non per l'isobutilene, base della preparazione dell'iso-ottano.

Sebbene si tratti di ricerche che non hanno ancora sortito l'esito voluto, sembra opportuno parlarne in un Convegno come quello indetto dall'Accademia di Torino, appunto perchè esso si propone di suscitare le osservazioni degli intervenuti, dando loro facoltà di esprimere le loro idee direttrici anche se esse non sono ancora state feconde di risultati pratici.

Il prof. Roberti conclude dicendo: « Se qualcuno, seguendo le direttive segnalate, riuscirà dove ancora non siamo riusciti, sarò il primo a rallegrarmene ».

IV Gruppo.

RELAZIONI FRA LA COMPOSIZIONE DELLE BENZINE E LA LORO EFFICENZA NEI MOTORI

GIORGIO ROBERTI

DIRETTORE DEL LABORATORIO CHIMICO DELL'A. G. I. P., ROMA

Relazione tra struttura chimica e il potere antidetonante, con particolare riferimento al numero di ottano di alcuni composti ossigenati.

RIASSUNTO. — *Sono stati raccolti i dati che si hanno sul potere antidetonante di idrocarburi e di composti ossigenati, per alcuni dei quali sono state eseguite le determinazioni relative.*

Si dimostra che un'indicazione sul valore approssimativo del potere antidetonante si può avere considerando le formule di struttura dei composti organici, limitandola per gli idrocarburi agli atomi di carbonio e per i composti ossigenati agli atomi di carbonio e di ossigeno e seguendo il criterio che un allungamento della catena porta ad un abbassamento del numero di ottano, mentre le ramificazioni portano ad un aumento.

Nel caso dell'ossido di mesitile, si pongono in rilievo analogie di comportamento tra un composto ossigenato non saturo e gli idrocarburi non saturi, sia riguardo all'influenza della concentrazione sul numero di ottano, sia riguardo alla suscettività al piombo tetraetile.

PREMESSA. — All'autarchia si tende non solo con lo studio e l'applicazione di processi di fabbricazione da materie prime italiane, ma anche riducendo gli sprechi attraverso un più razionale sfruttamento dei prodotti di consumo. Le ricerche che tendono a far conoscere il comportamento di varie sostanze nei motori a scoppio, al fine di migliorare la resistenza alla detonazione dei carburanti, hanno interesse autarchico, in quanto da un miglioramento di queste proprietà, risulta la possibilità di impiegare rapporti di compressione più alti nei motori, con conseguente diminuzione del consumo specifico dei carburanti stessi.

Il tentativo di trovare una relazione tra la struttura chimica dei composti organici, e il loro potere antidetonante, inteso come la facoltà di sopportare forti compressioni senza dar luogo al fenomeno della detonazione, rimonta ai lavori ormai classici di

Ricardo ([1]) il quale stabilì la seguente gerarchia tra i composti esaminati: alcoli, idrocarburi aromatici, idrocarburi naftenici, idrocarburi paraffinici, eteri.

Come si vede, in questa classifica, i composti sono raggruppati nelle famiglie in cui vengono distinti nei trattati di chimica organica.

Ricerche successive eseguite su singoli idrocarburi approfondirono le relazioni tra struttura chimica e potere antidetonante ([2]) e misero in rilievo la grande influenza che in una stessa serie di idrocarburi, hanno il peso molecolare e la forma delle molecole, cosicchè l'ordine gerarchico sopra riportato può risultare in molti casi invertito, confrontando singoli termini delle diverse serie.

Un'indicazione di questo fatto si ha nell'adozione della scala dei numeri di ottano, secondo cui il potere antidetonante dei carburanti risulta espresso per confronto con una miscela di due idrocarburi, l'eptano normale e il 2-2-4 trimetilpentano (iso-ottano) ambedue appartenenti alla serie paraffinica, i quali, avendo per definizione numero di ottano rispettivamente 0 e 100, differiscono tra di loro in potere antidetonante tanto che tutti i carburanti usuali risultano avere un potere antidetonante compreso tra quelli loro.

Lo stato attuale delle nostre conoscenze si trova esposto in una monografia di Lovell e Campbell pubblicata recentemente nell'opera « Science of Petroleum » ([3]). Riassumo le conclusioni più importanti che vi sono riportate e che riguardano il comportamento degli idrocarburi in soluzioni diluite, il comportamento degli idrocarburi puri ed infine la suscettibilità ad avere il potere antidetonante aumentato per aggiunta di piombo tetraetile, il più efficace degli antidetonanti di uso corrente.

1) Soluzioni diluite intorno al 20 %:

a) *Paraffine:* il potere antidetonante decresce con l'allungarsi della catena principale, cresce con l'introduzione di catene laterali e tanto più quanto più corte e più numerose sono queste catene e quanto più compatta ne risulta la molecola;

b) *Olefine:* l'introduzione di un doppio legame aumenta il potere antidetonante e tanto più quanto più centrale è il doppio legame; per le olefine ramificate si osservano le stesse influenze

---

([1]) *The High Speed Internal Combustion Engine.* Londra 1935.

([2]) Recentemente S. E. Bonino ha richiamato l'attenzione sulla relazione tra potere antidetonante e spettro Raman degli idrocarburi. V. Bonino e Manzoni Anzidei, « R. Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna », 11 dicembre 1938.

([3]) Londra 1938. Vol. IV, p. 3004.

delle ramificazioni come per le paraffine, restando sempre le olefine superiori alle corrispondenti paraffine;

c) *Idrocarburi ciclici:* α) serie del cicloesano: il cicloesano è superiore all'esano; l'influenza delle catene laterali è in relazione con il potere antidetonante che avrebbero le catene laterali se fossero separate; cioè catene lunghe e diritte diminuiscono il numero di ottano, mentre catene molto ramificate possono aumentarlo; β) serie del ciclopentano: il ciclopentano è superiore al cicloesano; per gli omologhi si hanno influenze relative analoghe a quelle viste per il cicloesano; γ) serie del cicloesene: il cicloesene è superiore al cicloesano; mentre il metil- e il dimetil-cicloesano sono inferiori al cicloesano, il metil- e il dimetil-cicloesene sono superiori al cicloesene; per catene laterali più lunghe si hanno le stesse relazioni; la posizione delle catene, quando sono più di una, ha anche influenza, mentre ciò non si nota per la serie del cicloesano; δ) serie del ciclopentene: il ciclopentene è superiore al cicloesene; nella serie si osserva analogia di comportamento con quella del cicloesene; ε) serie del benzolo: tutti gli idrocarburi di questa serie sono migliori delle peggiori paraffine; vi sono però degli idrocarburi paraffinici altrettanto buoni dei migliori di questa serie. L'introduzione di catene laterali esalta il potere antidetonante del benzolo tanto più quanto più numerose sono le catene, fino a che il numero di atomi di carbonio per ciascuna catena non sia superiore a 3 per catene dritte, mentre se si tratta di catene ramificate, anche catene più lunghe possono avere effetto positivo; i composti para sono superiori ai meta, che sono a loro volta superiori agli orto.

2) Idrocarburi allo stato puro: in generale permangono le relazioni osservate per soluzioni diluite; si nota però che alcuni idrocarburi non saturi allo stato puro sono inferiori alle corrispondenti paraffine: così l'etilene e l'acetilene rispetto all'etano, il propilene rispetto al propano, il 2-2-4 trimetilpentene rispetto al 2-2-4 trimetilpentano. Gli aromatici e i ciclici non saturi permangono superiori ai ciclici saturi.

3) Suscettività al piombo tetraetile. — L'aumento di potere antidetonante causato dall'aggiunta di piombo tetraetile è notevole soprattutto per le paraffine, i nafteni e gli idrocarburi aromatici con catene laterali sature; per le paraffine e i nafteni è tanto più notevole, quanto maggiore è il potere antidetonante dell'idrocarburo considerato. I composti olefinici hanno una debole suscettività e alcuni composti non saturi ciclici hanno addirittura una suscettività negativa.

I risultati riassunti al capoverso 1) sono in generale frutto di esperienze più antiche. Rispetto alle prove con idrocarburi puri, sono state preferite perchè richiedono una minor quantità di idrocarburi, la cui preparazione è spesso complicata e costosa, e hanno maggiore attinenza con il comportamento dei comuni carburanti, in cui ciascun singolo idrocarburo è contenuto in piccola percentuale.

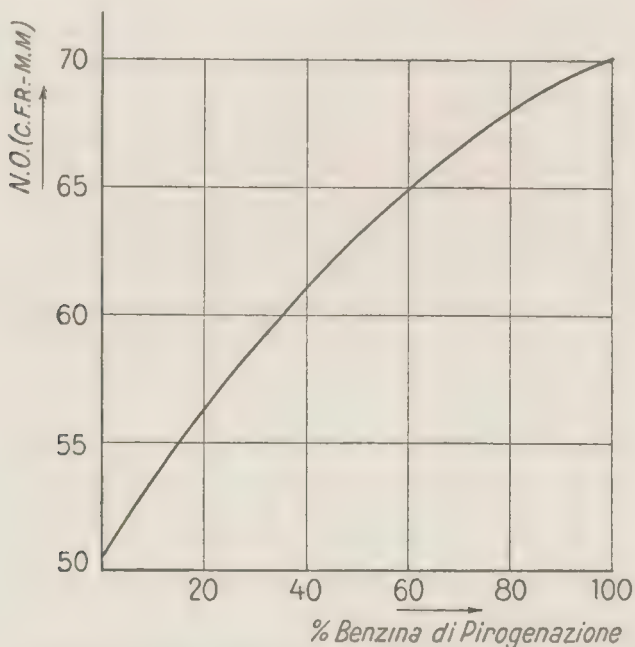



Fig. 1. — Numeri di Ottano di miscele di benzina primaria-benzina di pirogenazione.

Le ricerche di cui ai capoversi 2) e 3) corrispondono soprattutto alle esigenze delle nuove benzine avio a numero di ottano 100, per le quali è necessario aggiungere in forte proporzione composti singoli ad alto potere antidetonante e ad elevata suscettività al piombo tetraetile.

È interessante nel confronto tra i risultati ottenuti con miscele relativamente diluite e con idrocarburi puri, constatare che l'iso-ottano, inferiore all'iso-ottene nelle miscele, gli è superiore allo stato puro.

Questo risultato è connesso con un fatto di estensione più generale e cioè che il potere antidetonante degli idrocarburi non saturi antidetonanti è superiore nelle miscele in cui sono contenuti in bassa percentuale, che non per gli idrocarburi non saturi allo

stato puro; in altri termini la curva dei numeri di ottano di miscele di una benzina primaria con uno o più idrocarburi non saturi ad alto numero di ottano, in funzione della percentuale degli idrocarburi non saturi, si presenta con una convessità verso l'alto.

Così le miscele di benzine fortemente non sature ottenute per polimerizzazione dei primi termini non saturi gassosi, mentre allo stato puro hanno un numero di ottano che raramente supera

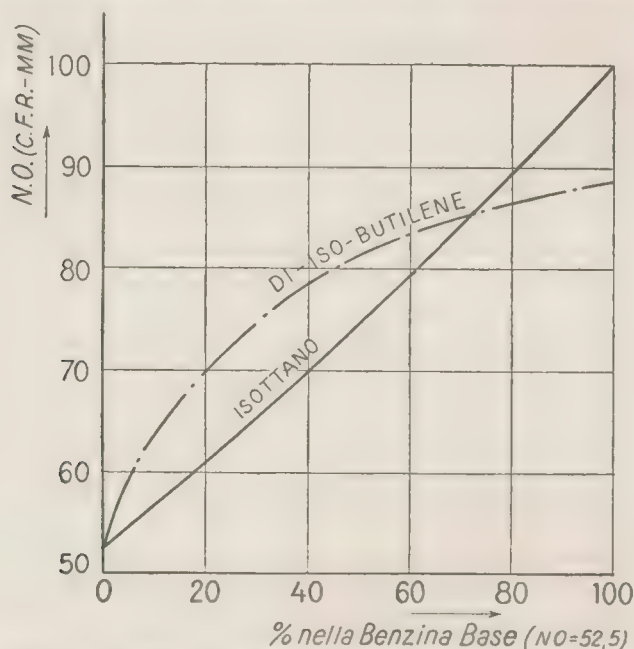



Fig. 2. — **Numeri di Ottano di miscele benzina primaria-isottano e benzina primaria-diisobutilene.**

il valore di 90, in miscele diluite al 10 % p. es. si comportano come se il numero di ottano fosse 120-130. Questo elevato valore del numero di ottano di miscela, si ha quando la benzina satura base ha basso numero di ottano.

Andamento analogo presentano le curve di miscele di benzine primarie e benzine di pirogenazione (v. diagramma 1).

Le miscele di benzine primarie con idrocarburi saturi ramificati ad alto numero di ottano danno luogo invece, nel diagramma numero di ottano — composizione, a curve che hanno un andamento quasi rettilineo. Questo fatto insieme alla maggiore suscettività al piombo tetraetile e alla maggiore stabilità chimica ha fatto adottare per le benzine avio a numero di ottano 100, come costituente principale, il 2-2-4 trimetil-pentano (v. diagramma 2).

L'importanza dell'impiego dei carburanti a N. O. 100 soprattutto nell'aviazione militare (maggiorazione della potenza dal 10 al 30 %, e quindi salita in quota assai più rapida, e consumo di crociera minore di circa il 10 %), il consumo assai grande di carburanti avio previsto per il tempo di guerra, il ricavo minimo di iso-ottano che si può avere dai gas provenienti dalla normale lavorazione [1] di un greggio (1 % come ordine di grandezza), ha spinto alla ricerca di altri composti ad elevato numero di ottano, buona suscettività al piombo tetraetile e che si possono ottenere in maggiore quantità e da altre fonti.

Sono stati così sperimentati anche numerosi composti diversi dagli idrocarburi e queste ricerche hanno esteso la conoscenza del comportamento dei composti ossigenati, che in un primo tempo si limitava ai classici componenti di carburanti di sostituzione dei paesi poveri di prodotti petroliferi, alcole etilico, alcole metilico, etere solforico.

Le idee che si potevano avere in base alle ricerche di Ricardo, cioè che gli alcoli fossero antidetonanti e gli eteri prodetonanti, si sono alquanto modificate. Si è potuto stabilire che la funzione chimica non ha importanza al riguardo e che analogamente a quanto era stato constatato per gli idrocarburi la forma e le dimensioni della molecola hanno importanza predominante.

Così l'alcole amilico ha 61 come numero di ottano, l'etere isopropilico ha invece 101.

Un criterio di portata generale per formulare un giudizio sul potere antidetonante degli idrocarburi saturi, come per i composti ossigenati saturi, si ha quando si scrive lo scheletro della formula di costituzione, cioè la formula di costituzione limitata agli atomi di carbonio per gli idrocarburi, ed agli atomi di carbonio e di ossigeno per i composti ossigenati: noi possiamo allora prevedere se un composto ha un buon numero di ottano seguendo l'idea che un allungamento della catena principale porta ad un abbassamento del numero di ottano, mentre le ramificazioni lo innalzano; particolarmente efficaci sono due gruppi metilici laterali, saldati allo stesso atomo di carbonio, e gli atomi di ossigeno ramificati, come risulta dal seguente specchio:

---

[1] Distillazione atmosferica e pirogenazione del residuo.

```
Idrocarburi                        N. O.

C—C                                 125

C—C—C—C                              90
    |
    C

C—C—C—C—C—C—C                         0

            C
            |
C—C—C—C—C—C                          64

  C   C
  |   |
C—C—C—C—C                            85

  C     C
  |     |
C—C—C—C—C                            90

  C
  |
C—C—C—C—C                            93
  |
  C

C—C—C—C—C—C—C—C                     —28

  C
  |
C—C—C—C—C                           100
  |   |
  C   C

  C
  |
C—C—C—C—C                           101
  | |
  C C

C———C
|   |                             84-89
C   C—C
 \ /
  C
```

```
alcoli                             N. O.

C—O                             135-140

C—C—O                                99

C—C—C—C—O                            74

    O
    |
C—C—C—C                              94

C—C—C—O                              91
  |
  C
```

```
alcoli                             N. O.
  C
  |
C—C—O                                99
  |
  C

C—C—C—C—C—O                          61

    C
    |
C—C—C—O                              91
    |
    C
```

```
Acetali

C—O—C—O—C                          56,4

C—C—O—C—O—C—C                        40
      |
      C

C—O—C—O—C                            69
    |
    C
```

```
Composti idrofuranici

C———C
|   |
C   C—C                              83
 \ /
  O
```

```
eteri                              N. O.
    C
    |
C—O—C—C                              73

    C
    |
C—O—C—C                             111
    |
    C

  C     C
  |     |
C—C—O—C—C                           101

    C
    |
C—O—C—C—C                           108
    |
    C

C—C—O—C—C                            75

      C
      |
C—C—O—C—C—C                          63

      C
      |
C—C—O—C—C                           115
      |
      C
```

```
eteri                      N. O.

         C
         |
C—C—O—C—C—C                 112
         |
         C

  C      C
  |      |
C—C—O—C—C                   112
         |
         C

           C
           |
C—C—C—O—C—C                 103
           |
           C

C—C—C—O—C—C—C                95
    |       |
    C       C

           C
           |
C—C—C—O—C—C                 106
    |      |
    C      C

             C
             |
C—C—C—C—O—C—C                81
             |
             C
```

```
eteri                      N. O.

                   C
                   |
C—C—C—C—C—O—C—C              63
                   |
                   C
```

```
Chetoni                    N. O.

   O
   ‖
C—C—C                       100

     O
     ‖
C—C—C—C                    98,5

  C  O
  |  ‖
C—C—C—C                     106
  |
  C
```

```
Esteri

   O
   ‖
C—C—O—C—C                   103

   O     C
   ‖     |
C—C—O—C—C                   106
```

I numeri di ottano riportati sono in massima ripresi da un lavoro riassuntivo di Egloff e Hubner (¹). Il numero di ottano dell'alcole metilico è ripreso invece da un lavoro di Wilke (²). È interessante constatare come questo si avvicini notevolmente a quello dell'etano, che ha uno scheletro uguale, salvo per la sostituzione dell'atomo di ossigeno con uno di carbonio. Risulterebbe quindi che il buon potere antidetonante dell'alcole metilico dipenderebbe, non dalla funzione alcolica, ma dalla brevità della catena.

Il numero di ottano del tetraidrometilfurano mi è stato cortesemente comunicato dal Prof. Natta. Esso si avvicina a quelli del metilciclopentano dati da Garner, Evans, Sprake e Broom (³)

(¹) Atti III Congresso del Carbonio Carburante. Vol. III, p. 87, 1938.
(²) Atti del II Congresso Mondiale del Petrolio. Parigi 1937, vol. III, p. 636.
(³) Atti del I Congresso Mondiale del Petrolio. Londra 1933, vol. II, p. 170.

per determinazioni con il motore S 30 con il liquido di raffreddamento rispettivamente a 150° e 100°, confermando l'osservazione fatta per l'alcole metilico.

Dei dati per gli esteri, ricavati da un brevetto di Guinot e Usines de Melle (1), è interessante quello per l'acetato di isopropile il cui scheletro è analogo a quello dell'etere isopropilico, dal quale poco si discosta come numero di ottano.

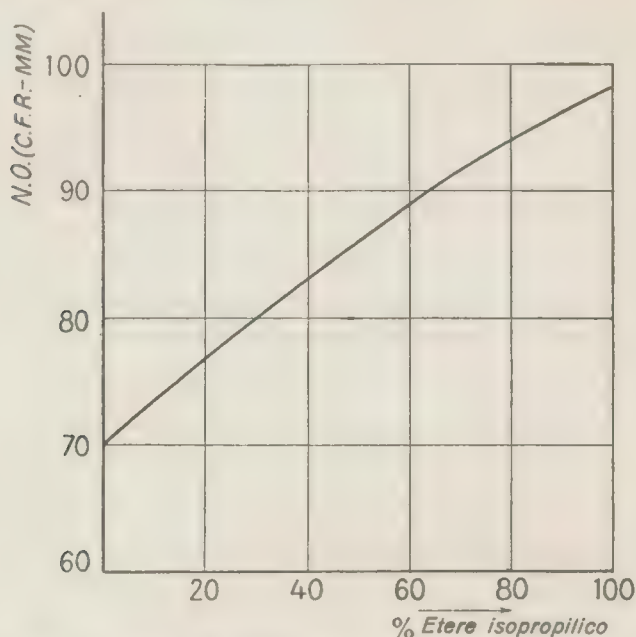



Fig. 3. — Numeri di Ottano di miscele benzina-etere isopropilico.

I numeri di ottano degli acetali e del pinacolone sono stati determinati dall'Ing. Semmola, in questo laboratorio. L'interesse che presentano gli acetali è dato dal fatto che si preparano a partire da alcoli (e, tranne il metilale, da acetilene) e sono più simili alla benzina degli alcoli, come potere calorifico e calore latente di evaporazione, per cui le loro miscele con benzina hanno un comportamento vicino a quello delle benzine pure, particolare importante, quando non si dispone di alcole in quantità sufficiente da miscelare a tutta la benzina. Importante è soprattutto il dimetil-acetale che si prepara addizionando acetilene ad alcole metilico e che essendo solubile in benzina, ci dà il modo più

(1) B. F. 837965. Pubbl. il 23 febbraio 1939.

comodo per impiegare in miscele carburanti di uso comune, l'alcole metilico, che invece non è miscibile alla benzina, almeno di non ricorrere ad un terzo solvente; il dimetilacetale può anche funzionare da terzo solvente.

Per il pinacolone (v. diagramma 4), l'interesse è dato dalla sua struttura; i tecnici della Rolls Royce [1] avevano constatato il buon

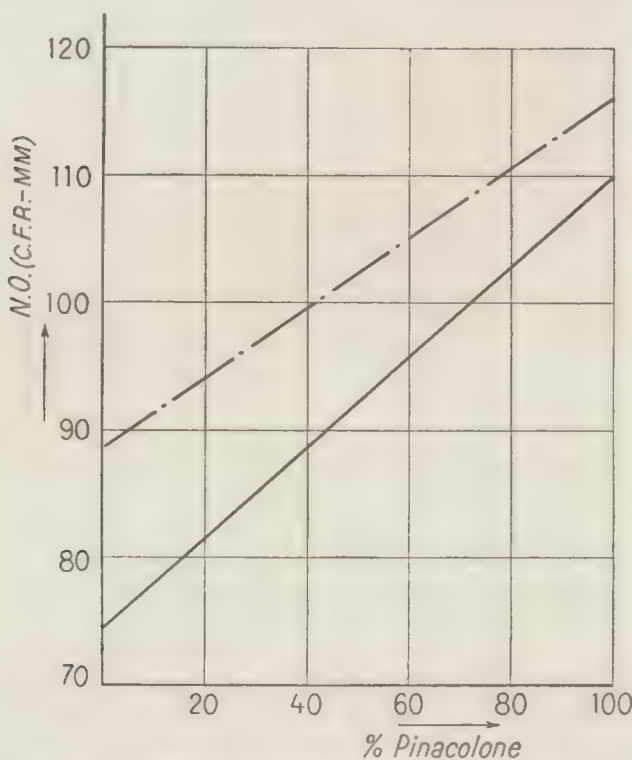



Fig. 4. — Numeri di Ottano di miscele benzina-pinacolone:

——— Pinacolone + benzina a N. O. = 74,4;

— · — Pinacolone + benzina a N. O. = 74,4 + 0,8 ‰ $PbEt_4$.

comportamento dei chetoni; in base al criterio sopra esposto, lo scheletro del pinacolone, dava garanzia che si sarebbe trovato un buon numero di ottano, come è stato confermato dall'esperienza.

Molti dei numeri di ottano dei composti ossigenati soprascritti, sono ricavati dai numeri di ottano di miscele; ciò è dovuto al fatto che la determinazione pratica del numero di ottano, che si fa per confronto con miscele di idrocarburi, riesce faticosa con

[1] v. Banks, « J. Inst. Petr. Techn. » 23, p. 61 (1937).

composti ossigenati puri, avendo questi un calore latente di evaporazione maggiore di quello degli idrocarburi ed essendo che la determinazione, secondo il metodo normalizzato, va fatta a temperatura costante delle miscele di ammissione.

Tuttavia pensiamo che i valori non si discostino molto da quelli dei composti puri, perchè probabilmente per i composti saturi

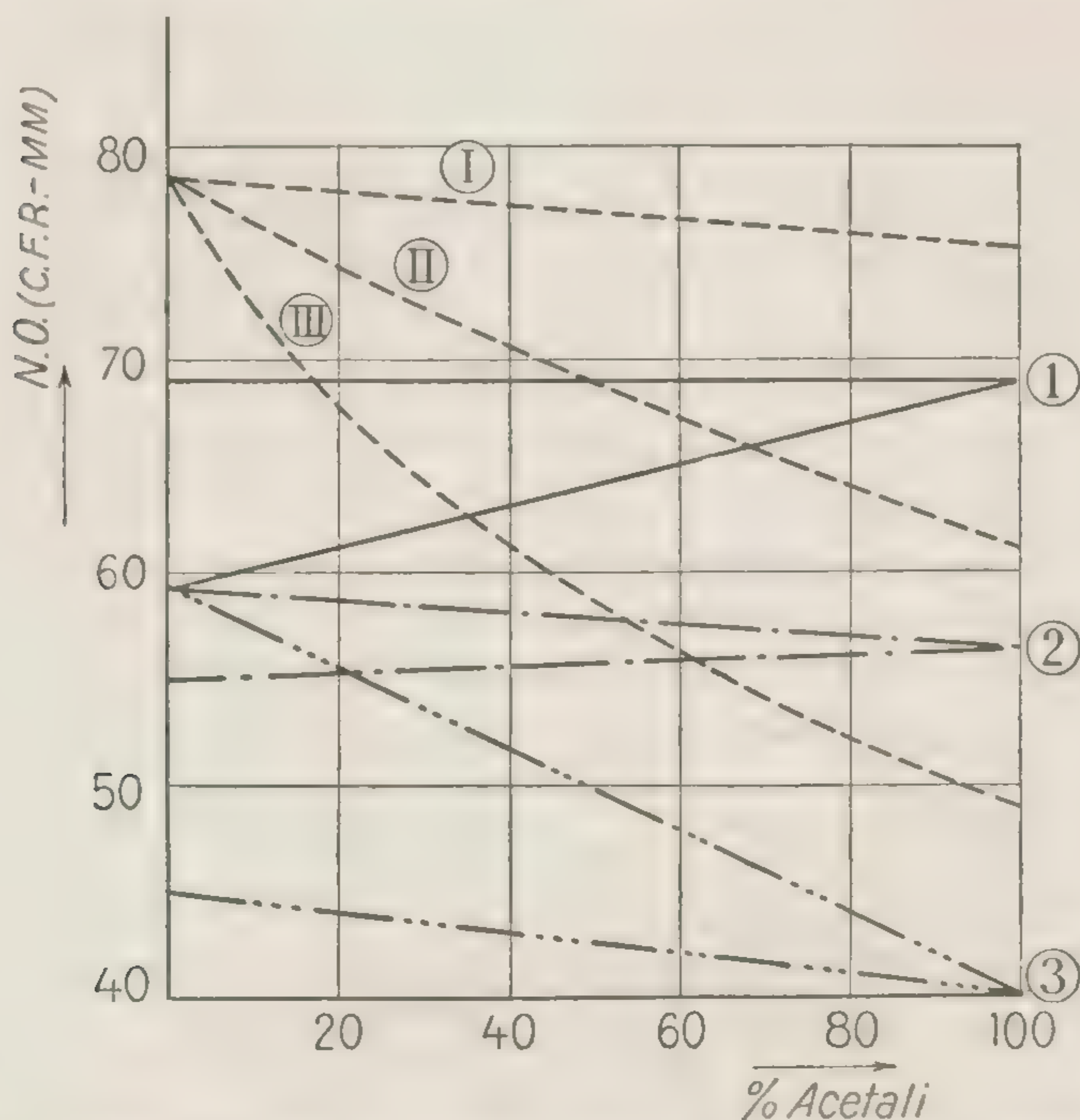



Fig. 5. — **Miscele di benzina con Dimetil-acetale, Dimetil-metilale e Dietil-acetale:**

1) Benzine a N. O. 59,3 e 69 + Dimetil-acetale,
I) Benzina a N. O. 59,3 + Dimetil-acetale + 0,6 ‰ $PbEt_4$;
2) Benzine a N. O. 59,3 e 55 + Dimetil-metilale,
II) Benzina a N. O. 59,3 + Dimetil-metilale + 0,6 ‰ $PbEt_4$;
3) Benzine a N. O. 59,3 e 45 + Dietil-acetale,
III) Benzina a N. O. 59,3 + Dietil-acetale + 0,6 ‰ $PbEt_4$

ossigenati si verifica, come per l'iso-ottano, un comportamento quasi rettilineo della curva che dà il numero di ottano in funzione della composizione.

Questo è stato verificato per miscele benzina-etere isopropilico (v. diagramma 3) e per il pinacolone e gli acetali essendosi trovato il numero di ottano per incontro di due rette tracciate per punti rappresentanti miscele a tenore vario del composto ossigenato, con due benzine base a diverso numero di ottano (v. diagramma 5).

Non conosco dati su composti ossigenati non saturi, all'infuori di quelli determinati in questo laboratorio dall'Ing. Semmola, per l'ossido di mesitile ([1]), che riporto nel seguente diagramma 6.

È notevole che l'andamento della curva si avvicina a quella dell'iso-ottene; si ha cioè una forte differenza tra il potere antidetonante per miscele a basso tenore di ossido di mesitile e miscele

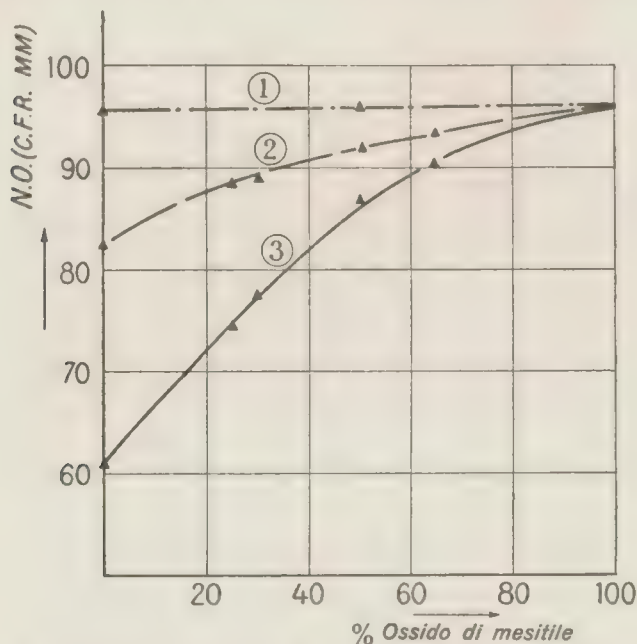



Fig. 6. — **Numeri di Ottano di miscele benzina-ossido di mesitile:**

1) Benzina a N. O. 96 + Ossido di mesitile;
2) Benzina a N. O. 61 + Ossido di mesitile + 0,8 ‰ $PbEt_4$;
3) Benzina a N. O. 61 + Ossido di mesitile.

a tenore elevato, nel caso di una benzina base a numero di ottano relativamente basso. La curva si appiattisce per benzine base a numero di ottano più vicino a quello dell'ossido di mesitile.

Suscettività al piombo tetraetile dei composti ossigenati. — Per la suscettività al piombo tetraetile dei composti ossigenati, Egloff (loc. cit.) riporta per alcoli, eteri e chetoni numerosi dati che non sono sempre confrontabili.

([1]) L'ossido di mesitile, il metilale, l'acetale dietilico e il pinacolone sono stati preparati in questo laboratorio dal Dott. Berti. L'acetale dimetilico ci è stato fornito dalla S. A. Terni ed è stato purificato dal Dott. Berti.

Non risulta comunque alcuna relazione semplice tra la suscettività e la funzione chimica o la struttura. Una buona suscettività è posseduta dagli alcoli che contengono un atomo di carbonio terziario, dai chetoni e da alcuni eteri, mentre altri hanno suscettività negativa. L'ossido di mesitile (v. diagramma 6) ha suscettività 0, come taluni idrocarburi non saturi.

Gli acetali hanno suscettività basse rispetto alle benzine primarie aventi uguali numeri di ottano.

IMPORTANZA PRATICA DEI COMPOSTI OSSIGENATI. — L'importanza pratica dei composti ossigenati resta notevolmente subordinata, oltrechè al numero di ottano ed alla suscettività al piombo tetraetile, alle facilità e al costo del loro ottenimento. Per alcuni, come l'acetone, l'etere isopropilico ed anche il metil etil-chetone vi sono possibilità di ottenimento assai superiori che non per l'iso-ottano. Una inferiorità è invece data dal potere calorifico, minore di quello dell'iso-ottano, ciò che può annullare o rendere negativa l'economia di consumo data dall'impiego di un carburante a numero di ottano più elevato. Nel caso dell'etere isopropilico, il potere calorifico è circa il 90 % di quello dell'iso-ottano, ancora inferiore è per i chetoni e tanto più quanto maggiore è il contenuto percentuale di ossigeno.

Ciò malgrado, secondo i tecnici della Rolls Royce (loc. cit.), i chetoni potrebbero avere una importanza pratica, in virtù della suscettività al piombo tetraetile, che si mantiene elevata anche per alti contenuti di piombo tetraetile.

GIUSEPPE FERRARO-BOLOGNA

INGEGNERE NEL LABORATORIO DEI MOTORI A SCOPPIO DEL R. POLITECNICO DI TORINO

Risultati ottenuti con carburanti ad altissimo numero di ottano nei motori aeronautici.

RIASSUNTO. — *Le formule costruttive attuali sono state portate ai limiti massimi di utilizzazione. Un nuovo passo di notevole importanza può però essere fatto allontanando i pericoli della detonazione e le limitazioni che ne derivano.*

Vengono quindi esaminate le esigenze particolari dei motori d'aviazione e i vantaggi che possono derivare dall'uso di carburanti spinti, in previsione di aumenti di potenza di riduzione del consumo e di attenuazione delle difficoltà di raffreddamento.

Al momento attuale, dato il livello raggiunto dalla tecnica costruttiva, l'impiego di carburanti a numero di ottano (N. O.) molto elevato si prospetta come uno dei mezzi più agevoli per aumentare la potenza ed il rendimento dei motori aeronautici.

Da pochi anni il valore medio di questo indice si è fissato, per i carburanti usati nell'aviazione, in un intervallo compreso fra 80 e 87, ma la possibilità di produrre sinteticamente con mezzi nazionali e in quantità sufficiente ai bisogni, l'isoottano, rende di grande attualità i problemi della utilizzazione di benzine a 100 e più di N. O.

Esso appare infatti come il principale se non il solo mezzo per realizzare ulteriori aumenti sia di potenza sia di rendimento attraverso le due vie della sovralimentazione e della sovracompressione, delle quali la prima soddisfa piuttosto al requisito della potenza, la seconda a quello del rendimento.

Il limite vero per i motori d'aviazione in questi due indirizzi è oggigiorno dato dalla detonazione.

Ritorneremo sulle cause che influenzano questo fenomeno; fin d'ora accenniamo al fatto che mentre per altri motori esistono

circostanze che la attenuano, le esigenze a cui deve soddisfare un motore aeronautico — grandi alesaggi, forti rendimenti volumetrici, alte temperature interne ecc. — concorrono in gran parte invece a favorirla.

L'aumento continuo delle quote di adattamento, indipendentemente dal fatto di una eventuale sovralimentazione, richiede rapporti manometrici di compressione elevati, i quali, dati gli alti esponenti che ha la compressione nelle macchine centrifughe, provocano grandi aumenti delle temperature della miscela facilitando così la formazione di composti instabili che determinano la possibilità di detonazione.

Per una serie di ragioni costruttive varie, le forti cilindrate che caratterizzano i motori d'aviazione di grande potenza, sono ottenute con un numero limitato di cilindri di grande diametro. Anche questa circostanza concorre a facilitare la detonazione, poichè questa risulta particolarmente sensibile al rapporto tra il volume della camera di compressione e l'area delle sue pareti.

Quest'azione è stata riscontrata sperimentalmente: espressa in termini del valore raggiunto dal rapporto critico di compressione per un dato carburante e per una data pressione di alimentazione ha dato luogo alla tabella seguente, che riportiamo a titolo di esempio prendendola dallo studio sui motori simili eseguito dal D. V. L. nel 1934:

TABELLA N. 1.

diam. cilindro .	75	90	105	120	135	150	mm.
rapp. crit. comp.	7,6	7,2	6,8	6,4	6,1	5,8	

D'altra parte è necessario che la detonazione sia evitata particolarmente nei motori aeronautici, perchè oltre a causare un notevole aumento di temperatura nei cilindri e sollecitazioni di carattere dinamico, che non di rado si presentano con frequenza molto prossime a quelle proprie di vibrazione delle bielle, conduce molto rapidamente, anche nelle forme che non si rivelano in alcun modo all'udito, al regime di preaccensione, condizione questa che può produrre, pure solo dopo brevissimi istanti (in qualche caso sono bastati trenta secondi), la rovina del motore.

Per evitare questo grave pericolo, particolarmente temibile per i ridotti margini di sicurezza che si assumono per diminuire il più possibile il rapporto potenza - peso, occorrerebbe sacrificare ancora di più lo sfruttamento del motore (pressione media e

rendimento) se non si potesse ricorrere a carburanti più resistenti alla denotazione di quelli ordinariamente impiegati in altre applicazioni.

1. - Limiti della detonazione.

La detonazione dipende da un grandissimo numero di fattori; ne è stata elencata una quindicina (Serruys), ma due sono decisivi

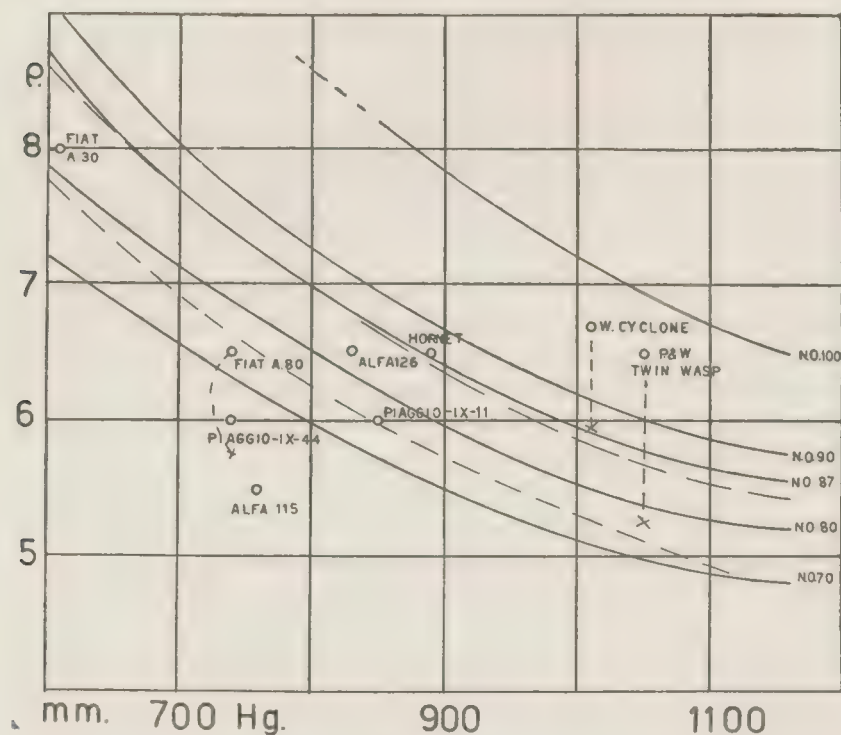



Fig. 1.

al riguardo del nostro tema: la pressione di alimentazione e il rapporto volumetrico di compressione. Se si tengono fissi tutti gli altri fattori e si fanno variare solo i due citati si può facilmente trovare quali sono le limitazioni reciproche.

Le esperienze di Boerlage condotte sul motore C. F. R. possono servire allo scopo. Queste prove sono state eseguite avendo di mira essenzialmente la determinazione degli aumenti di potenza ottenibili al variare del numero di ottano, ma poichè il diagramma

finale portava le linee di egual rapporto di compressione e di pressione di alimentazione costante, da esse abbiamo potuto dedurre i valori necessari per il tracciamento delle curve limiti della detonazione in corrispondenza di un certo numero di valori del N. O.

Questi diagrammi permettono di verificare la attendibilità della regola adottata normalmente, che al crescere della pressione di alimentazione, per un carburante avente un dato valore dell'indice di ottano, si debba ridurre il rapporto di compressione in modo che la pressione alla fine della corsa di compressione rimanga inalterata. Una limitazione di questo genere equivale quindi ad imporre che tra il rapporto volumetrico di compressione ϱ e la pressione p sia verificata la relazione,

$$\frac{\varrho}{\varrho'} = \left(\frac{p'}{p}\right)^{\frac{1}{n}}.$$

Assegnando all'esponente n come valore medio probabile 1,32 sono state calcolate le due curve tratteggiate della figura 1, prendendo come valori di partenza per una la pressione di alimentazione $p_0 = 760$ mm. Hg. e $\varrho = 6{,}5$ e per l'altra rispettivamente 880 mm. e 7. La corrispondenza tra le curve sperimentali e le linee teoriche è più che soddisfacente.

Nella figura sono poi state riportate le condizioni di funzionamento di alcuni motori, in base alle loro pressioni di alimentazione e ai loro rapporti di compressione.

A differenza del motore sperimentale, però, le circostanze accessorie di questi motori variano dall'uno all'altro, ed in particolare sono diversi l'alesaggio e il regime di rotazione.

Per rendere confrontabili i loro dati, abbiamo provato ad operare una « riduzione » all'alesaggio ed al regime del motore C. F. R., trasportando nella figura 1 i punti rappresentativi nelle posizioni indicate.

Per queste riduzioni ci siamo serviti — anche con estrapolazioni — delle relazioni espresse dalla tabella 1 e dalla figura 2, derivante dalle esperienze di Campbell.

Se il metodo fosse ineccepibile si arriverebbe ad identificare il numero di ottano necessario per ciascun motore. Le prescrizioni delle ditte non concordano esattamente con questa idenficazione e nemmeno i punti « ridotti » si trovano su una curva $p\varrho^n = cost.$ Ciò non dovrebbe accadere per i motori sui quali si è

operato questo tentativo, dato che il carburante richiesto è quasi lo stesso per tutti, sicchè fin da queste prime osservazioni emerge come il valore della classificazione in base al numero di ottano non deva essere sopravalutato.

Con tutto ciò essa continua a rendere servigi molto utili e a fornire dati attendibili circa il comportamento nei motori a molti cilindri d'impiego corrente, dei carburanti a N. O. modesto, intendendo con tale attributo quelli, ottimi per l'automobilismo, che raggiungono al massimo il valore di 80 o 82.

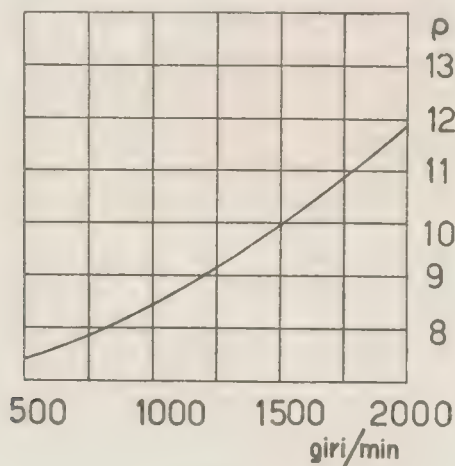



Fig. 2.

Quando si tratta invece di carburanti prossimi a 100 i risultati ottenuti coi mezzi soliti dell'indagine possono subire notevoli mutamenti nella realtà, quando addirittura non si verificano contraddizioni, come per esempio, comportamento mediocre in un motore in antitesi con uno brillante nel monocilindro, e non mancano neppure esempi del caso inverso. Tale sorprendente risultato viene infatti citato nel secondo resoconto del C. F. R. (S. A. E. Journal 1938).

Per giudicare con quale cautela sia necessario procedere nel trarre conclusioni è bene notare che la scala del N. O. manca completamente di uniformità. Si può vedere con tutta facilità, esaminando la figura 1, come la distanza che separa le intersezioni delle curve limiti in essa tracciate, con linee a pressione costante o a rapporto ϱ di compressione costante, vada continuamente crescendo al crescere del N. O. benchè la differenza dell'indice dell'una all'altra curva rimanga sempre di 10 punti.

Una constatazione di questo genere porta a due deduzioni diverse, la prima che volendo non solo estrapolare risultati sperimentali, ma anche fare delle interpolazioni, si possono facilmente commettere errori gravi. Infatti una valutazione approssimata del N. O. può indicare comportamenti assolutamente illusori nei motori. La seconda deduzione invece starebbe a dimostrare che date le forti variazioni nelle qualità motoristiche, non dovrebbe essere difficile valutare con tutta esattezza il numero di ottano di un carburante molto resistente alla detonazione, facendo misure di potenza.

Ciò è vero se si fa riferimento a questa grandezza, ma purtroppo risulta nettamente in contraddizione coi dati correnti dell'esperienza, poichè la perdita di sensibilità che si riscontra nei mezzi per rilevare e confrontare l'intensità di detonazione del carburante da classificare con quella del carburante campione distrugge completamente l'azione favorevole del distanziamento dei punti di funzionamento.

L'assunzione dell'isoottano come termine superiore della scala è stata soddisfacente quando tutt'al più si usava come supercarburante l'alcool il quale, come si sa, presenta caratteristiche di resistenza alla detonazione leggermente superiori; però al momento attuale, considerando che non sono rari i carburanti che oltre ad avere un N. O. notevolmente elevato allo stato puro superano poi largamente le qualità dell'isoottano stesso quando vengono opportunamente addizionati con antidetonanti, all'azione dei quali si manifestano particolarmente sensibili, si vede l'insufficienza di tale elemento come campione.

Benchè non rientri direttamente nell'ambito del tema propostoci, non è inopportuno riassumere le modalità seguite nei metodi di prova generalmente usati per valutare le caratteristiche antidetonanti della benzina, accennare alle divergenze che si riscontrano allo scopo di giustificare la quasi totale assenza di raffronti tra i vari risultati sperimentali dovuti ad autori diversi, raffronti che quando pur vengono fatti sono accennati in modo appena indicativo, e per giustificare l'omissione di molti dati che pur essendo interessanti non possono essere ben collocati in un quadro generale.

I risultati sperimentali che verranno più volte riferiti sono per lo più ricavati da ricerche effettuate sul motore Wright-Cyclone che per essere molto impiegato ha servito alla maggior parte delle esperienze.

Ritornando ai metodi di prova possiamo compilare la tabella seguente:

TABELLA N. 2.

	A.S.T.M. C.F.R. Metodo Motore	C.F.R. Metodo Ricerca	U.S. ABMY	British Air Ministry.
N.	900	600	1200	900
Temp. motore °C	100	100	165	100
Temp. miscela °C	148	nessun contr.	nessun contr.	127
Rivelatore detonaz.	Spina M.	Spina M.	misura temp.	Spina M.

Le differenze di regime esistenti tra questi vari metodi rappresentano ognuna un tentativo di realizzare nel monocilindro, condizioni di funzionamento molto prossime a quelle effettive dei motori di impiego corrente. In particolare elevando le temperature sia delle pareti sia delle miscele e mantenendo basso il numero di giri, si crea un ambiente più adatto alla alterazione dei carburanti e si prolunga il tempo in cui tale alterazione può avvenire. Si cerca in tal modo di compensare le circostanze vantaggiose che si creano nei monocilindri per l'esiguità dei diametri adottati per essi, come del resto si riconosce facilmente riesaminando la tabella 1, e considerando che i vari motori a compressione variabile hanno alesaggi prossimi a 80 mm.

Attualmente si sta mettendo a punto presso il C. F. R. un sistema di misura che prevede due possibili condizioni di prova; rispettivamente a 900 e 1800 giri al minuto e con temperature del cilindro di 100° C. e 196°-204°.

Con questo metodo si cerca di classificare i carburanti più resistenti dell'isoottano sfruttando la circostanza che in tale zona della scala, le variazioni delle qualità motoristiche che accompagnano anche modeste variazioni dell'indice sono, come del resto già si è visto, molto estese.

Tale metodo è detto *del compressore* perchè senza variare il rapporto volumetrico di compressione si fa aumentare la pressione di alimentazione fino a quando non compare qualche irregolarità di combustione, sia essa battito in testa o ritorno di fiamma o autoaccensione. L'estrapolazione dei N. O. oltre il valore 100 viene fatta in base alla quantità di piombo tetraetile che occorre aggiungere alla miscela S-I ed M-I di N. O. 100 per avere la stessa potenza del carburante da classificare e in base alla conoscenza (frutto dell'estrapolazione dei risultati a N. O.

minori di 100) della relazione tra l'aumento del numero di ottano della miscela S-I ed M-I, N. O. 100, e la percentuale di piombo tetraetile addizionata.

I N. O. misurati coi vari sistemi risultano alquanto diversi tra loro e benchè esista qualche punto di riferimento non è possibile tuttavia passare da una determinazione all'altra specie con alcuni tipi di carburanti.

Scegliendo qualche esempio dalla tabella pubblicata da Heron e Beatty si può avere un'idea di queste differenze:

TABELLA N. 3.

		ASTM	CFR (RM)	BAM	ARMY	COMPR.	
						900 n.	1800 n.
Benzine { Sintetiche . . / Idrogenazione / Cracking . .	N. O.	76÷79	79	79	75÷78	75	77
Benzene (1)	N. O.	100 + 0,6 Pb	100	—	88	100 + 6 cc	100 + 5 cc 90
Metanolo (1)	N. O.	98	—	—	87=90	100 + 6 cc	90 – 95

Nonostante queste differenze, peraltro in certi casi notevolissime, sarebbe tuttavia eccessivo negare valore alle indicazioni che questi metodi possono fornire. Nel caso dell'applicazione aeronautica, date le molteplici esigenze alle quali devono soddisfare i carburanti, e data la necessità di avere in ogni luogo praticamente le stesse benzine in vista della grande facilità di spostamento degli aereoplani si è venuta ad operare una selezione di modo che le benzine avio si riducono a pochi tipi con caratteristiche quasi uniformi.

Benchè da ciò non si possano fare troppe generalizzazioni, non è totalmente assurdo trasferire il comportamento nel monocilindro a quello che realmente si potrà ottenere nei motori correnti.

Questa conclusione riceve per esempio una conferma dal confronto tra gli incrementi percentuali delle potenze sviluppate in

(1) Quando il N. O. supera 100 invece di esso è data la percentuale di $PbEt_4$ che rende indetonante l'isoottano.

un motore Lycoming con temperatura di ammissione di 95° C. e quelle riscontrate nel monocilindro impiegato secondo le norme del metodo prescritto dall'aviazione militare degli Stati Uniti, dagli stessi carburanti.

TABELLA N. 4.

	Mot. Army	Mot. Lycoming
N. O. 92 (Army)	100	100
Iscottano	120	117
» + 3 cc $PbEt_4$ per gallone U.S. = 0,8 %	155	134

Notiamo che correggendo i valori della potenza del motore Lycoming per tener conto della diversa temperatura della miscela (95° C. contro 10 misurati nel motore Army) si riporta il valore 134 al valore 153 ottenuto moltiplicando per il coefficiente di correzione $1{,}141 = \frac{622}{544}$ come risulta dalle formule correnti per la correzione di potenza. La concordanza delle due prove è dunque soddisfacente. Anche per i consumi si può concludere allo stesso modo poichè essi sono stati rispettivamente 197 grammi/c. v. h. per l'Army e 188 per il Lycoming.

La determinazione del numero di ottano sui motori ordinari viene fatta in base ad altri principi. Al variare della dosatura variano potenza, consumo specifico e temperatura delle teste dei cilindri: un carburante avrà un indice di ottano tanto migliore quanto più favorevoli saranno i valori di queste grandezze.

Allora, dopo aver determinato la posizione approssimata di un carburante nella scala dei numeri di ottano mediante uno dei due sistemi ASTM oppure Army si fa il confronto su uno stesso motore nelle stesse condizioni di alimentazione e di raffreddamento, tra il carburante in esame e un carburante di riferimento scelto opportunamente e caratterizzato da una buona stabilità al variare delle condizioni di prova. Riducendo la portata di carburante si giunge al punto in cui per uno dei due carburanti ad una ulteriore diminuzione di dosatura compare un forte aumento di temperatura del cilindro, indizio sicuro di detonazione. In tali condizioni vengono messe a confronto le tre grandezze citate e viene determinato un indice sintetico di funzionamento detto *match number* (M. N.) legato a queste tre grandezze dalla seguente rela-

zione che è stata determinata dopo una lunga serie di prove a carico variabile [1]:

$$\text{match number} = \frac{100}{hp/\text{in. cub.}} + t_{r^\circ} + 10^3 \frac{lb}{hp.h}.$$

Ad una variazione di 15 unità di questo numero corrisponde una variazione di circa I unità del numero di ottano. Come esempio si può citare la tabella data dal Veal nella presentazione del primo resoconto delle misure del numero di ottano su motori stellari eseguita dal C. F. R.

TABELLA N. 5.

Carburante	Potenza C. V.	Cons. spec. 1 b/c. v. h	T° F	M. N.	N. O.
Rif. n. 3	527	0.388	503	1299	87
$a-7$	518	0.385	538	1341	84,2
$a-8$	522	0.388	502	1299	87
$a-9$	525	0.390	495	1207	87,8

Data la forma di questo indice è evidente che esso risulterà tanto minore quanto maggiore è il numero di ottano.

2. - Il N. O. e la potenza.

Esaminiamo gli aumenti di potenza che, grazie al miglioramento delle caratteristiche antidetonanti, si possono realizzare agendo rispettivamente sul rapporto di compressione e sulla pressione di alimentazione.

Delle due azioni la prima è stata tale anche in ordine di tempo tantochè la prima definizione della resistenza alla detonazione si basa precisamente sul valore limite del rapporto di compressione (H. U. C. R.).

Per questa via si ottiene di aumentare uno dei fattori del rendimento, precisamente il rendimento termico ideale del ciclo (ε); essa non richiede modificazioni della testa, perchè già ricorrendo

---

(1) La formula in unità metriche diventa:

$$\frac{6102}{CV/dm^3} + \left(\frac{9}{5}\, t^\circ C + 32\right) + \frac{2{,}2\,g}{CV.h}.$$

ad un piccolo innalzamento del cielo del pistone, si possono realizzare variazioni sensibili del rapporto di compressione: così sul Wright-Cyclone, che è il motore più studiato per le prove dei carburanti, si è potuto, in sede di esperimento, aumentare con questo sistema il rapporto di compressione da 6,4 a 7,85.

Però, data la legge ben nota secondo la quale varia il rendimento termico ideale ε, al variare del rapporto di compressione ϱ, partendo dai valori di ϱ, attualmente raggiunti non sono da attendersi aumenti molto sensibili di potenza.

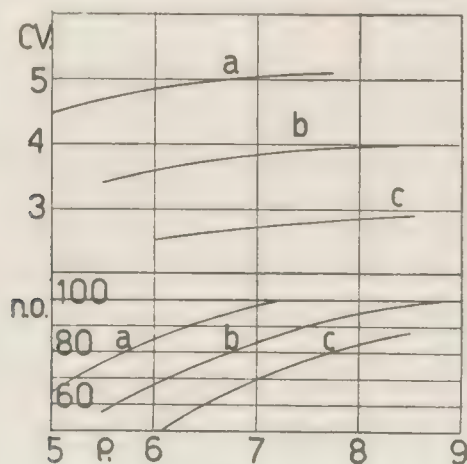



Fig. 3.

Non è poi del tutto trascurabile l'influenza pur secondaria del rapporto di compressione, sul rendimento volumetrico dei motori in cui la pressione di alimentazione è maggiore o minore di quella dello scarico. Questa influenza è espressa dalla nota formula

$$\eta'_v = \eta_v\left(1 + \frac{1}{m(\varrho - 1)} \frac{pa - ps}{pa}\right)$$

dove $\eta'_v - \eta_v$ è la differenza dei rendimenti volumetrici portata dalla differenza $pa - ps$ delle pressioni di alimentazione e di scarico, ed m è l'esponente della compressione o espansione dei gas residui nello spazio morto.

Per illustrare con dati sperimentali queste osservazioni si sono operate delle sezioni nel diagramma della figura 1, in corrispondenza delle pressioni di alimentazione di 630, 790, 960 mm. di mercurio; si sono ricavati i valori della compressione ammissibili in corrispondenza dei vari N. O. e sono state tracciate tre curve

di detonazione incipiente, mentre nella parte alta della figura 4 sono tracciate le curve di potenza misurate da Boerlage nel corso delle prove citate.

Da verifiche effettuate in vari punti ho potuto constatare che la linea corrispondente alla pressione di 760 mm. concorda con buona approssimazione la variazione del rendimento termico ideale ricavata sperimentalmente da Ricardo sul monocilindro di sua ideazione, mentre la curva superiore corrispondente ad una discreta

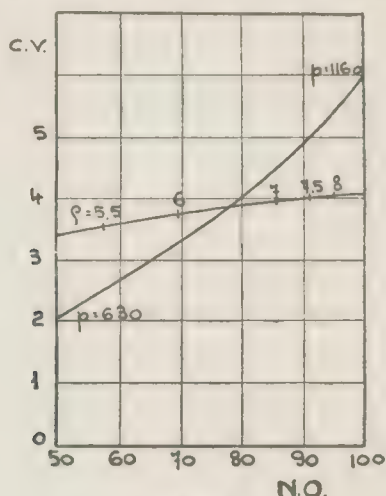



Fig. 4.

sovralimentazione segue piuttosto le variazioni del prodotto $\varepsilon \eta_v'$. Si vede che passando da 87 di ottano a 100 non si hanno guadagni eccedenti il 4%.

Ben maggiori sono gli aumenti di potenza ottenuti agendo sulla pressione di alimentazione, nei motori muniti di compressore come sono ora nella quasi totalità i motori aeronautici. Infatti la potenza è all'incirca proporzionale alla pressione di ammissione e quindi, a parità di rapporto di compressione, anche a quella di compressione consentita dal carburante (¹).

Alcuni dati sperimentali al riguardo sono contenuti nella fig. 5, in cui le ordinate sono le potenze ottenute al variare del N. O. espresse come percentuali della potenza fornita dai carburanti a 87 di ottano valore corrispondente al limite usuale attuale per le benzine d'aviazione.

(¹) Per mettere in evidenza l'efficienza della sovralimentazione vengono riportate due curve di potenza ricavate da Boerlage.

La divergenza delle varie linee trova la sua giustificazione nelle diverse modalità sperimentali e dove le modalità sono abbastanza prossime nelle diversità di valutazione dell'indice di ottano quando si supera il valore precedentemente indicato.

Le curve a tratti si riferiscono infatti alle potenze indicate di motori monocilindri. Per essi infatti si usa riportare i risultati relativi alla potenze indicate, poichè più che di motori veri e propri

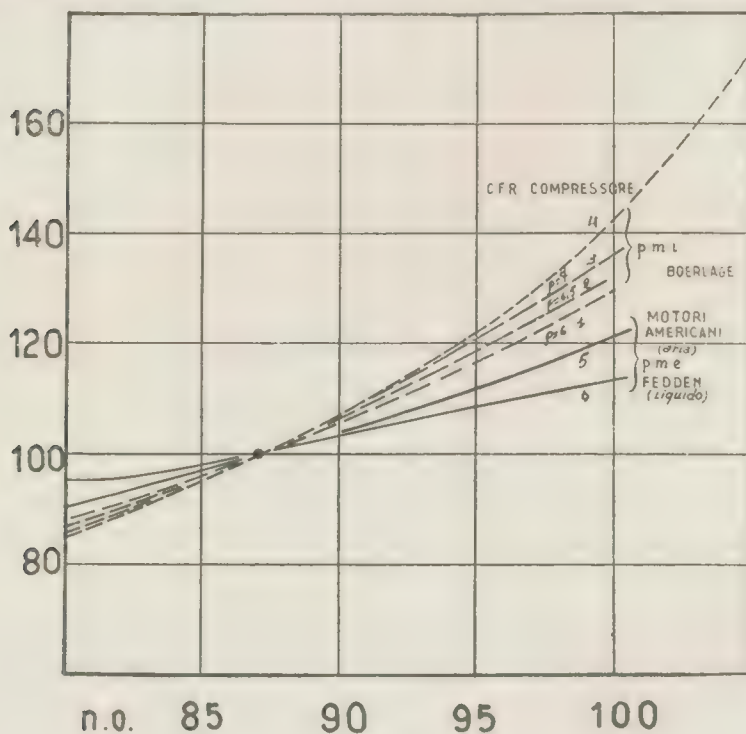



Fig. 5.

calcolati per reggere ad un determinato sforzo, e ben proporzionati ad esso, si tratta di strumenti di prova che dovendo essere sottoposti a condizioni gravosissime sono eccezionalmente appensantiti, per cui gli attriti del manovellismo non permettono di realizzare i rendimenti meccanici che corrispondono ai motori d'impiego normale. Si aggiunge dunque alla potenza misurata quella assorbita nella marcia a vuoto allo stesso regime della prova. Si trascura inoltre la potenza fornita al compressore che di solito ha un proprio comando indipendente.

Cominciamo a considerare le curve tratteggiate che corrispondono a prove su monocilindri. Del fascio costituito dalle linee

1, 2, 3 tracciate in base ai risultati ottenuti dal Boerlage e più volte citati, in corrispondenza di tre valori del rapporto di compressione $\varrho = 6 \div 6{,}5 \div 7$ risulta che i motori quanto più sono compressi tanto maggiormente ritraggono beneficio dall'aumento del numero di ottano se esso viene ulteriormente sfruttato aumentando la pressione di alimentazione.

La linea 4 deriva dalle prove condotte col metodo del compressore a 1800 giri. Heron e Beatty hanno fatto osservare che se tale curva fosse opportunamente prolungata tenderebbe ad un valore asintotico in corrispondenza del N. O. 129, il che significherebbe che secondo queste prove a tale valore non si dovrebbe più verificare detonazione per nessun grado di sovralimentazione.

Le linee 5 e 6 dànno invece le potenze effettive. La linea N. 5 raccoglie i dati realizzati nei motori stellari studiati nel primo resoconto del CFR, mentre la linea inferiore rappresenta i guadagni di potenza realizzati da Fedden su un motore aeronautico. Questa linea è più bassa perchè lo sperimentatore ha agito anche sulla economia (probabilmente variando ϱ) e quindi se l'aumento di potenza appare modesto (solo del 13% circa) esso è stato ottenuto però con una eguale riduzione del consumo specifico, come si vedrà meglio trattando dell'economia del carburante.

Accennando ora ai valori estremi avuti colla sovralimentazione, ricordiamo che nei motori stellari con carburanti a 100 di ottano si sono raggiunte p. m. e. di 14 Kg./cm² mentre col metodo del compressore impiegando carburanti a 100 di ottano addizionati con 1,6 cmc. di $PbEt_4$ sono state calcolate p. m. i. di 24,7 Kg./cm² ed oltre.

Secondo la citazione di Klein (¹) usando pressioni di alimentazione di 2700 mm. Kg. Prescott e Ford hanno raggiunto pressioni medie indicate prossime a 40 Kg./cm² ricorrendo alla iniezione di acqua nel cilindro e usando carburanti a 100 N. O. + 0,6 cmc. $PbEt_4$ Klein stesso ha trovato con un carburante a base di toluene, benzolo, isopentano e la medesima quantità precedente di piombo una p. m. i. di 36,46 Kg./cm² con una pressione di alimentazione di 2240 mm. Kg. Queste prove sono per ora completamente fuori dalla portata degli attuali compressori i quali al massimo permettono delle pressioni al suolo, di 1200 mm. Hg.; non è però impossibile che in avvenire tali risultati possano essere in parte realizzati.

Su questo ordine di grandezza stanno pure le conclusioni tratte da Ellor il quale ha cercato le curve limiti della detonazione

(¹) S. A. E. Journal, 1936.

in un monocilindro raffreddato ad acqua che ammetteva un rapporto di compressione di 6 ed una velocità di stantuffo di 14,4 m./sec. A 100 di ottano l'A. ha calcolato delle p. m. i. di 25 Kg./cm² mentre sarebbe arrivato a 20 con soli 87 di ottano.

Le temperature della miscela in entrambi questi casi erano molto basse. Le curve limiti tracciate in funzione della pressione e della temperatura permettono di esaminare il comportamento

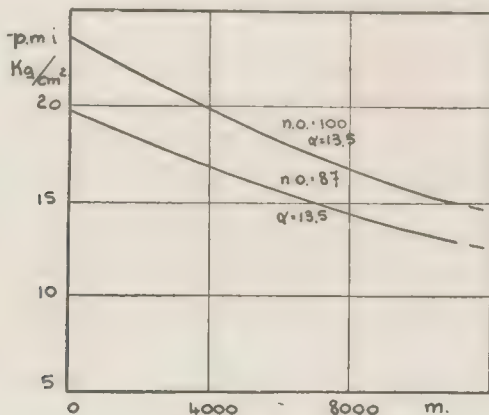



Fig. 6.

in quota dei carburanti. Nel caso particolare delle benzine impiegate e dei rapporti di miscela scelti di 11,5 e di 13,5 il carburante a 100 è risultato più sensibile alle variazioni di temperatura prodotte dalle compressione. Le p. m. i. alle varie quote sono state calcolate ammettendo che ad ogni rapporto di compressione ad esse corrispondenti il compressore funzionasse con il massimo rendimento ottenibile in corrispondenza di ogni singolo rapporto manometrico. Pur non potendo raccogliere questi risultati nel quadro generale per l'originalità con cui viene trattato il problema sono stati tracciati i diagrammi relativi alla p. m. i. in funzione delle quote di adattamento. Come risultato generale appare da esse che passando da 87 a 100 di ottano le stese pressioni medie possono essere ottenute a quote superiori di circa 3000 m.

3. - Il N. O. e i consumi.

L'argomento più valido in favore dell'impiego dei carburanti molto spinti, almeno nel campo aeronautico, e che può indurre ad andare incontro alle maggiori difficoltà di rifornimento; al costo maggiore, nonchè ai guai derivanti da eventuali corrosioni, che

si verificano molto presto alla minima deficenza di manutenzione, viene fornito quasi certamente dalla possibilità di realizzare una notevole riduzione del consumo specifico.

Se si considera poi che per la massima parte della sua durata un motore è destinato a funzionare ai regimi economici di crociera, l'importanza degli eventuali incrementi di potenza, può passare in secondo piano.

Cominciamo quindi ad occuparci del problema principale ossia della riduzione del consumo specifico in regime di crociera.

È ancora troppo diffusa l'opinione che l'economia di carburante dipenda esclusivamente dal rapporto volumetrico di compressione, mentre, come giustamente hanno fatto osservare Heron e Beatty, quando si tratta di motori d'aviazione si deve dare peso anche maggiore al possibile impoverimento della miscela. Ciò perchè come vedremo anche in seguito, potenze consumi e temperature sono, almeno per i motori raffreddati ad aria, strettamente legati fra di loro. Di fatto un eccesso di carburante può ridurre la temperatura e quindi consentire maggiori sollecitazioni in quegli organi meccanici del motore in cui le temperature provocano, se troppo elevate, riduzioni dei giuochi necessari alla lubrificazione, e deterioramenti delle caratteristiche meccaniche dei materiali.

Analogamente, colle calorie di evaporazione del carburante si ottengono quegli abbassamenti di temperatura sia della miscela sia eventualmente di punti caldi come per esempio possono essere le teste delle valvole, necessari perchè non si acceleri la dissociazione del carburante innescandone l'accensione e la detonazione.

Discende dalla definizione stessa del N. O. che se esso è alto questi arricchimenti della miscela possono essere evitati.

Per constatare che effettivamente al crescere del N. O. si possono realizzare risparmi di carburante non indifferenti, nella figura 6 sono messi in evidenza i risultati della ricerca effettuata da Fedden e che già ci ha servito per alcune considerazioni circa gli aumenti di potenza.

Non ho potuto trovare indicazioni esatte sulle modalità della prova; però dall'andamento del diagramma sembra che si possano interpretare i risultati come se si trattasse di un'esperienza in cui si è aumentato il rapporto di compressione fino ai limiti consentiti dai successivi aumenti delle caratteristiche indetonanti dei carburanti impiegati.

A favore di questa interpretazione sta la circostanza che gli aumenti di potenza e le riduzioni di consumo sono dello stesso

ordine di grandezza, e corrispondono precisamente alle variazioni che il rendimento termico ideale subisce per effetto del variato rapporto di compressione, quando nel calcolo di ε si tenga conto delle note correzioni per l'aumento del calore specifico, la dissociazione ecc.

Consideriamo per esempio i dati relativi al funzionamento in corrispondenza dei valori 87 e 100 nell'indice di ottano.

Il consumo passa da 174 a 230 cmc. con una riduzione prossima al 12 %, valore perfettamente giustificabile con le sole variazioni del rapporto di compressione volumetrico da 5 a 6,2 oppure ammettendo un valore iniziale più prossimo a quelli attualmente impiegati, da 6 a 8.

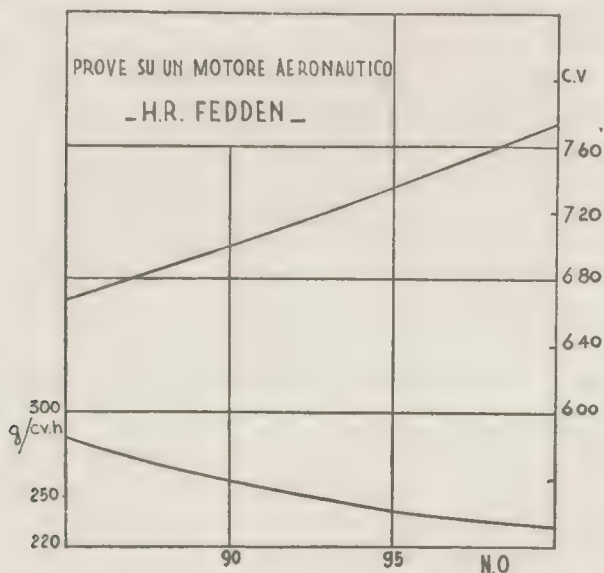



Fig. 7.

La variazione di potenza misurata che passa da 676 in corrispondenza di 87 N. O. a 770 circa a 100 dà a sua volta un aumento percentuale dell'11,4 % con un'ottima concordanza coi valori del rendimento termico corretto.

Altre ricerche molto significative per la determinazione del valore più opportuno da assegnarsi al rapporto di compressione sono state compiute in America. L'aviazione militare degli Stati Uniti, che attualmente sopperisce ad una gran parte del suo fabbisogno di carburanti con benzina a 100 di ottano, ha affrontato con grandi mezzi molte delle questioni alle quali abbiamo via via accennato.

Gagg trattando dei problemi di potenza e consumo per motori aeronautici e sul modo di ricavare i migliori risultati dai motori (S. A. E. Journal 1937) presenta i diagrammi riportati in figura 8.

Le curve di consumo sono in numero di 3 per raccogliere i dati dell'esperienza come si realizzano nelle varie condizioni di condotta del motore, cioè di dosatura, anticipo d'accensione, regimi di temperatura dell'olio e, nei motori raffreddati a liquido,

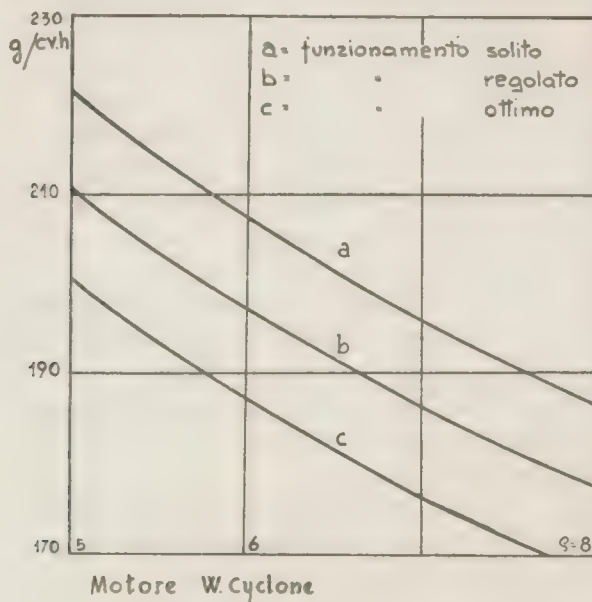



Fig. 8.

di quest'ultimo o per i motori con raffreddamento ad aria, intensità di ventilazione.

La linea superiore (*a*) dà valori abbastanza alti anche quando il rapporto di compressione è prossimo ai massimi realizzati, poichè rappresenta condizioni di funzionamento non in vista di avere un buon rendimento, ma, come dice l'autore « for routine use ».

Le due successive (*b*) e (*c*) rappresentano rispettivamente condizioni di buono e ottimo controllo del motore. Rinunciando ai valori in corrispondenza del funzionamento con rapporto di compressione 5 poichè attualmente esso è molto raramente usato nei motori aeronautici, si trova che qualora il carburante permetta di mantenere ϱ elevati, come accade per la benzina a 100 di ottano, si possono realizzare anche in condizioni non corrispondenti agli

ottimi rendimenti, consumi eguali ai minimi valori che solo con grandissima cura e con grande difficoltà si raggiungono coi carburanti normali.

Finora si è messo in relazione il consumo prevalentemente col rapporto di compressione. Sulla scorta dei fatti però dobbiamo abbandonare questo punto di vista unilaterale e occuparci anche della dosatura.

È bene allora premettere che i motori aeronautici muniti di compressore, specialmente se i loro cilindri sono disposti a stella, hanno un vantaggio sui motori dell'automobilismo per ciò che riguarda l'uniformità di ripartizione del carburante tra i vari cilindri. Infatti quando si dà il rapporto tra il peso dell'aria aspirata e quello della benzina, si dà un valore fittizio della dosatura, che rappresenta esclusivamente le condizioni esistenti nella sezione di efflusso dal carburatore, mentre la dosatura effettiva nei singoli cilindri può essere molto diversa.

Uno studio di Bartholomew-H. Chakl-B. Brewster, della Ethil Gasoline Corp. comparso sotto il titolo: « Carburazione, tubazioni e valori dei carburanti antidetonanti », porta per la singolarità dei mezzi di indagine ad una analisi molto approfondita e molto caratteristica della importanza del fenomeno in un motore a 8 cilindri in linea, da automobile.

Gli Autori con un dispositivo particolare hanno prelevato un piccolo saggio della miscela direttamente dalla camera di compressione nell'istante immediatamente prima dello scoccare della scintilla d'accensione, e hanno trovato i seguenti valori:

a) dosatura al carburatore = 13,35
b) dosatura più povera = 20,8
c) dosatura più ricca = 9,94.

Queste diseguaglianze non solo possono dar luogo a dissimetrie di sforzi, dannose alla vita del motore, ma alterano il comportamento per quanto riguarda la detonazione anche perchè finisce per essere diverso il carburante che va ai vari cilindri. Infatti l'irregolarità di distribuzione è notoriamente dovuta al fatto, che nè attraverso il carburatore e neppure nel primo tratto della tubazione di aspirazione quando il percorso della miscela è comune per tutti i cilindri, si ha una completa vaporizzazione del carburante. Ora, come hanno constatato gli Autori, mentre la percentuale di benzina che è allo stato di vapore si ripartisce quasi uniformemente tra tutti i cilindri, a condizione che il tracciato delle tubazioni sia opportunamente determinato, il trascinamento delle

parti liquide avviene in modo molto irregolare. Da ciò una grande differenza di composizione del carburante, secondo predominano le parti più o meno volatili di esso, e una differenza pure del N. O.: i cilindri poveri che conterranno quasi esclusivamente la fase gassosa detoneranno con minor facilità di quelli ricchi, se i prodotti più volatili sono più resistenti, come le frazioni paraffiniche leg-

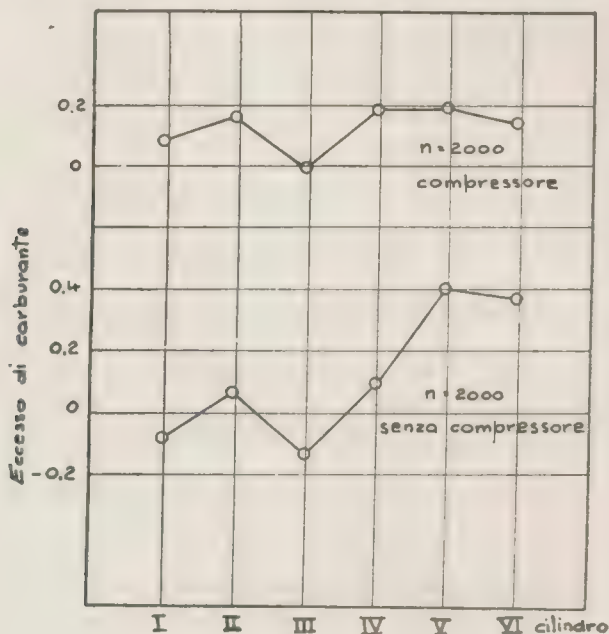



Fig. 9.

gere, o viceversa, se sono più resistenti le frazioni meno volatili, come le aromatiche. Nei motori aeronautici queste diseguaglianze sono in gran parte evitate, perchè il compressore compie anche una funzione secondaria di rimescolatore e rimane molto attenuato il danno che potrebbe aver luogo, qualora il numero di ottano alto fosse ottenuto mediante taglio delle benzine base con elementi o troppo o troppo poco volabili. Il diagramma di distribuzione delle dosature, che riportiamo nella fig. 9 mette chiaramente in evidenza l'azione regolatrice del compressore. Esso è tratto da esperienze condotte in Francia e di cui ha parlato G. Bonnier (*Problemi di potenza e di consumo nell'aviazione*, «Science aerienne», Apr. 1937).

In base a questo diagramma e alle osservazioni precedenti è stata rilevata una condizione di funzionamento caratteristica dei motori aeronautici e che si volge in loro favore.

Rimane quindi accertato che si può parlare correttamente di dosatura poichè le anomalie citate dagli Autori americani di cui sopra sono qui o completamente evitate, o molto attenuate.

Ad ulteriore conferma è bene mettere in evidenza che il diagramma riportato si riferisce ai cilindri di destra di un motore a V. quindi in condizioni molto meno vantaggiose di quelle in cui si possono trovare i motori stellari.

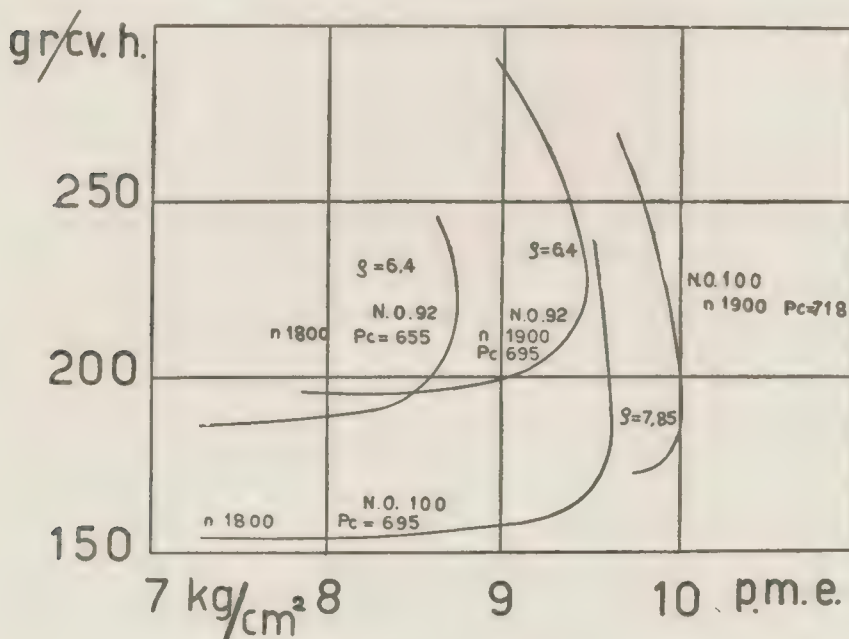



Fig. 10.

Ciò premesso vediamo le economie realizzate in un motore Wright-Cyclone nel quale non solo si è aumentato il rapporto di compressione, innalzando la testa dello stantuffo, ma anche si è ridotta la ricchezza della miscela (Fig. 10).

I 4 diagrammi hanno i consumi specifici come ordinate e le pressioni medie effettive (p. m. e.) come ascisse: i regimi di funzionamento sono indicati direttamente accanto ad ogni curva. Un semplice calcolo indica come nella zona piatta della pressione e ancora in prossimità del ginocchio il risparmio di carburante passando da $\varrho = 6{,}4$ a $\varrho = 7{,}8$ e contemporaneamente sostituendo il carburante corrente a 92 N. O. (Army) con uno a 100, raggiunga nientemeno che il 24 o 25%.

Simile riduzione non può essere spiegata in alcun modo se non si imposta il problema sulla dosatura. Individuare per quali ra-

gioni siano stati registrati consumi così ridotti dell'ordine di 160 gr. non è nè facile nè possibile. Si può però trovare una conferma riferendosi alla linea (*c*) della figura N. 7.

Altri risultati notevoli sono quelli ottenuti da Klein (S. A. E. Journal 1936 « *Future possibilità dei motori a 100 ottano* »), ancora sullo stesso motore Cyclone con benzina a 92 N. O., metodo Army, però con corrente d'aria di raffreddamento fortemente ridotta, appunto perchè si trattava di mettere in evidenza l'inizio del regime detonante con gli aumenti bruschi di temperatura che lo caratterizzano. Sono stati misurati i valori seguenti.

N. O.	92	100	100
C. V.	565	570	462
g/c. v. h.	292	244	218

Si aggiunge che la temperatura della miscela è stata regolata a 72-73° C.; che il rapporto peso aria peso benzina (*a*) ha variato da 25 a 10, il numero dei giri del motore è stato di 1820 e il rapporto di compressione uguale a 6,45.

Caratteristica di questa prova è che la riduzione di consumo è stata ottenuta con la semplice sostituzione di carburante, ed è tuttavia assai maggiore (aumentando al 16,4 %) di quella realizzabile con l'aumento del rapporto di compressione, dati i valori medi ammissibili per questo aumento.

Una relazione fra consumo specifico, N. O. e M. N. (Math Number) è implicita nella definizione stessa di questo indice:

$$M.\,N. = a\,\frac{cv}{dm^3} + b\,{}^0F + Cg \quad (^1)$$

(in cui *a*, *b*, *c*, sono i valori numerici della formula generale).

E poichè quanto minore è il M. N., tanto maggiore risulta il numero di ottano si deduce immediatamente che quanto minore è il consumo a parità delle altre condizioni, tanto migliore è il numero di ottano.

Nel corso delle prove si opera precisamente, quando il motore è al regime voluto, riducendo la dosatura, e dalla raccolta dei diagrammi di prova si vede appunto come per una piccola ulteriore diminuzione di ricchezza compaia la detonazione.

Questo cambiamento di regime può essere individuato con grandissima esattezza, quando si ha la possibilità di misurare la pressione massima del ciclo.

---

(1) $g = gr/cv.h.$

Cummings, esponendo i risultati più recenti della misura del numero di ottano su motori stellari, riporta il diagramma relativo ad una esperienza in cui da una riduzione piccolissima di portata oraria del carburante in un motore avente rapporto di compressione 6,4 e una pressione di alimentazione di 735 mm. Hg. la pressione balza bruscamente dal valore di 56 Kg./cm^2 a quello quasi raddoppiato di 96.

I carburanti impiegati in questa prova avevano un indice di ottano molto modesto, confrontando i valori minimi delle portate di benzina ammissibili con un funzionamento regolare si è trovato che con valori di 81 e 84 di ottano erano rispettivamente di 127 e 124 Kg./h. In queste prove non viene quasi mai misurata la portata di aria quindi in mancanza della possibilità di valutare il rendimento volumetrico non si possono dedurre valori esatti della dosatura; ammettendo però, data la vicinanza dei punti di funzionamento, che il rendimento volumetrico fosse circa eguale, le due dosature starebbero tra di loro nel rapporto 0,93 che in media rappresenta la variazione di un'unità nel rapporto dei pesi di aria e di carburante.

4. - Il N. O. e le temperature.

Si è cercato di precisare la relazione del N. O. con le potenze sviluppate e le temperature dei cilindri, naturalmente per motori raffreddati ad aria.

La cosa non riesce facile per la grande dispersione di dati, ottenuti in condizioni diverse. Ci limiteremo pertanto a citare alcuni casi che sono del resto molto significativi.

Consideriamo ad esempio nella fig. 11 le relazioni tra temperatura, potenza e consumo specifico comunicate nel 2° resoconto del C. F. R. pubblicato nel 1938 da Cummings (S. A. E. Journal).

Data la prossimità dei N. O. corrispondenti ai due carburanti, 100 e 98, determinati col metodo dell'indice sintetico, riceviamo una conferma indiretta della grande differenza esistente tra due carburanti che pur differiscono di sole due unità nella classificazione secondo l'ottano.

Poichè i due carburanti sono due campioni, formati con le miscele S-I ed M-I e di piccola differenza di composizione, vengono a cadere tutti i dubbi circa la probabile influenza del potere calorifico, del calore di vaporizzazione ecc. che senz'altro possono essere ammessi eguali.

Le prove sono state condotte riducendo gradatamente la ricchezza della miscela fino a riscontrare l'inizio dell'aumento rapido delle temperature, e di conseguenza quello del regime detonante.

La potenza è prossima al massimo, il motore Wright Cyclone è omologato per 850 C. V. a 2100 n/1′ con carburante N. O. 87.

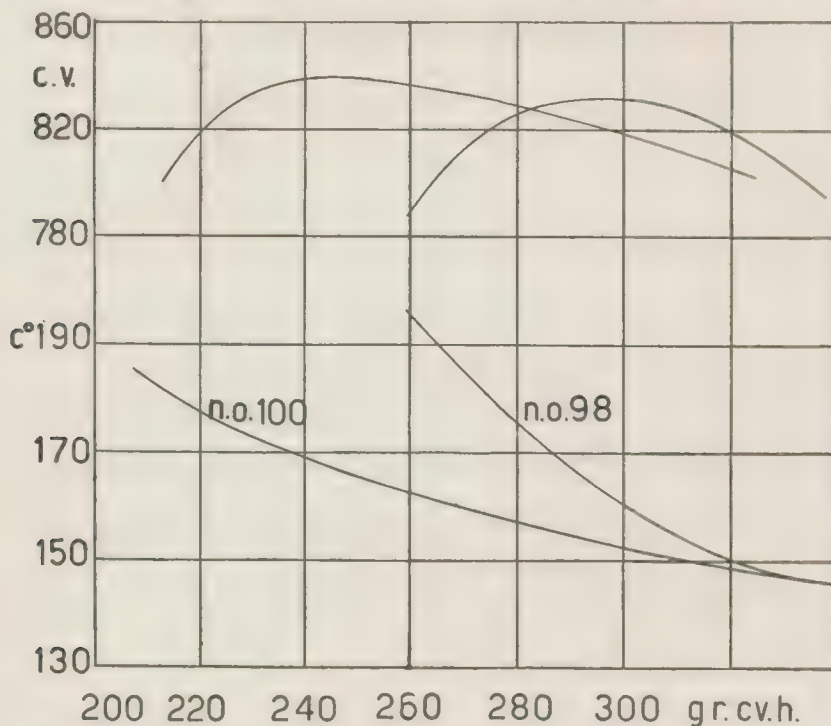



Fig. 11.

In tali condizioni le temperature sono eguali o prossime ai 150° C. per consumi superiori a 300 gr./C. V. h. ma al diminuire di essi la differenza tra le temperature va rapidamente crescendo.

Si deve poi ancora notare che nel carburante a N. O. 100 la potenza massima, viene raggiunta in corrispondenza di 240 gr./C. V. circa con una temperatura di 170°, mentre in tali condizioni per il carburante a 98, non solo la temperatura risulta notevolmente più alta, ma la potenza è minore di almeno una quarantina di cavalli.

L'allontanamento dell'inizio della detonazione rende possibile il funzionamento del motore a regimi che, utilizzando carburanti correnti ad 87 di N. O. non sono consentiti o al più vanno limitati a brevissime durate.

La fig. 12 illustra chiaramente il funzionamento del motore (che è ancora il Wright Cyclone) in condizioni poco lontane da quelle di decollo. Da esso si vede come oltre un certo limite non

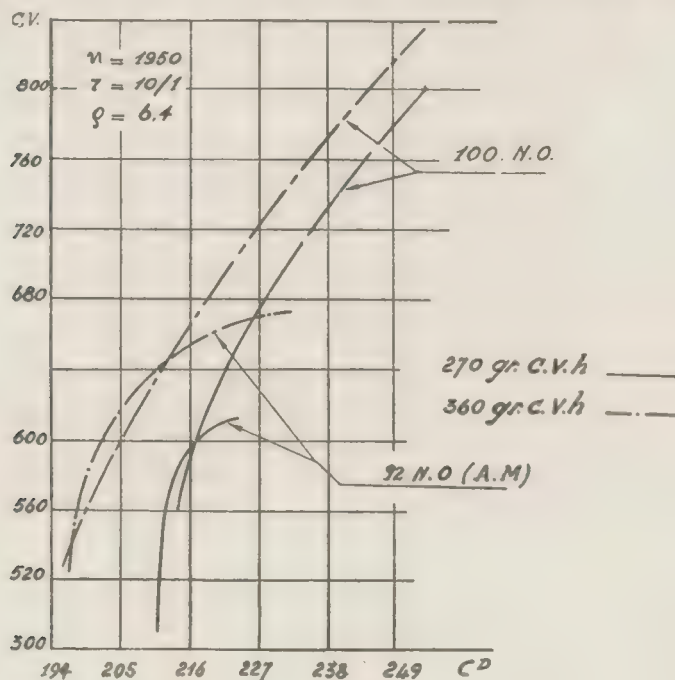



Fig. 12.

si possa in modo assoluto accrescere la potenza perchè contemporaneamente le temperature dei cilindri subiscono aumenti rapidissimi.

Da quanto si è detto risulta dunque che quando le dosature tendono a diventare corrette, ossia dalle grandi ricchezze si passa alle condizioni normali al variare del N. O. a parità di temperatura si possono avere circa le stesse potenze, con consumi però nettamente diversi a parità di consumo specifico, e delle potenze massime, al crescere del N. O. diminuisce la temperatura dei cilindri.

V Gruppo.

ECONOMIA DEI COMBUSTIBILI SOLIDI NAZIONALI NELLA PRODUZIONE E NELLA UTILIZZAZIONE DEL CALORE

CARLO PADOVANI

DIRETTORE DELLA SEZIONE COMBUSTIBILI DEL R. POLITECNICO DI MILANO

I combustibili solidi nazionali e la loro utilizzazione.

RIASSUNTO. — *Sono esaminate le riserve nazionali di combustibili solidi e le relative capacità di produzione in confronto al fabbisogno termico del paese.*

Sono quindi passate in rassegna le possibilità di impiego diretto dei nostri combustibili e le trasformazioni chimiche, con particolare riguardo alla distillazione a bassa temperatura e ai moderni processi di idrogenazione e di sintesi.

Mentre l'inasprimento della situazione internazionale costringe i popoli giovani e mal dotati ad adottare sempre più rigidamente la formula autarchica, essenziale appare il raggiungimento della massima indipendenza nel settore termico.

Essenziale esso è di fatti ai fini della sicurezza e dell'efficienza del Paese, della sua attitudine alla lotta per la vita che governa ormai i rapporti fra le nazioni.

A questo traguardo oltre che con la creazione di scorte adeguate, con il controllo degli approvvigionamenti dall'estero e con la migliore utilizzazione possibile dei combustibili importati, si deve tendere con lo sfruttamento massimo ed ottimo del patrimonio termico nazionale.

Importa dunque più che mai la perfetta conoscenza quantitativa e qualitativa delle nostre riserve, in relazione alle esigenze e alle possibilità della tecnica attuale.

Entità e ripartizione del consumo italiano di combustibili solidi.

Appare opportuno nella valutazione delle nostre risorse di combustibili solidi avere sott'occhio il nostro fabbisogno globale in questo campo e come è suddiviso tra le varie categorie di consumatori.

Gli sforzi dei tecnici e del Governo per contenere il consumo di combustibili e per sostituirli con altre fonti di energia hanno potuto soltanto compensare le maggiori esigenze dovute allo sviluppo industriale del paese di modo che il consumo complessivo annuale rimane ancora oggi come ordine di grandezza quel che era prima della grande guerra, aggirandosi intorno ai 12 milioni di tonnellate. Il 50 % di questo consumo è assorbito dai traffici ferroviari e dalla distillazione e precisamente oltre il 20 % dalle cokerie, il 16-17 % dalle ferrovie, il 12-13 % dalle fabbriche da gas. Questi consumi sono evidentemente quelli che hanno maggiori esigenze quantitative e qualitative e sui quali non è da sperare e starei per dire neanche da augurare che si realizzino grandi risparmi. Le ferrovie con l'elettrificazione hanno già sostituito oltre un milione e mezzo di tonnellate annue ed estenderanno certamente la sostituzione, le fabbriche da gas, pure in continuo aumento, si adatteranno in tempi di emergenza a contrarre la produzione fino ai limiti delle minime esigenze civili, ma per le cokerie che alimentano l'industria siderurgica e altre essenziali industrie chimiche è da prevedersi un aumento piuttosto che una diminuzione di richiesta.

Fra i consumatori minori e per i quali anche dal punto di vista qualitativo è più facile prevedere economie e sostituzioni del carbone estero con quello nazionale figurano le acciaierie e fonderie per il 10 % circa, le fabbriche di calce, cementi, laterizi per l'8 %, industrie chimiche, varie, cartiere e simili pure per l'8 %, gli impianti di riscaldamento con il 6 %, le industrie alimentari con il 4-5 %, le industrie manifatturiere, le industrie vetrarie e ceramiche, le centrali termoelettriche, ognuna con quote intorno al 2-3 %, mentre circa il 5 % è rappresentato da carbone di bunker.

Entità, caratteristiche, produzione dei nostri giacimenti di combustibili solidi.

Il nostro patrimonio di combustibili solidi che fino a qualche anno fa era ritenuto ufficialmente inferiore al mezzo miliardo di tonnellate, in seguito alle ricerche e agli accertamenti degli ultimi anni può valutarsi ad una potenza complessiva accertata di oltre 650 milioni di tonnellate e ad una potenza presunta intorno a un miliardo di tonnellate. Di queste 850 milioni circa sono valutate per miniere in attività di produzione o di ricerca e 150 milioni per miniere attualmente inattive.

Il più importante contributo a questo patrimonio è dato dai carboni e dalle ligniti picee della Sardegna, dove le ricerche dell'Azienda Nazionale Carboni Italiani, estendendosi dal vecchio bacino del Gonnesu verso il mare, nel nuovo distretto di Carbonia (bacino del Sulcis) hanno portato le valutazioni presuntive a circa cinquecento milioni di tonnellate.

Seguono con potenze presunte intorno a 100 milioni di tonnellate le riserve di carbone liburnico dell'Istria, quelle di lignite legnosa, torbolegnosa e picea della Toscana, quelle di lignite torbolegnosa e torbosa dell'Umbria, quelle di lignite torbosa della Campania (bacino del Morcone) e della Lucania e Calabria (bacino del Mercure).

Di minore entità i giacimenti di antracite del Piemonte, i giacimenti di torba della Toscana e degli Abruzzi, e altre miniere e giacimenti dispersi un po' in tutta Italia.

In tutto da 50 a 60 giacimenti, fra grandi e piccoli, un numero molto maggiore di miniere, con caratteristiche differentissime, spesso anche nella stessa miniera.

Ciò rende particolarmente complesso il problema della utilizzazione dei nostri combustibili solidi che deve impostarsi sopra un accurato studio oltre che minerario termico e chimico eseguito giacimento per giacimento. A dare dimostrazione di questo fatto valga uno sguardo alla Tabella I che riporta, insieme ad alcuni dati minerari, i dati analitici determinati dalla Sezione Combustibili sopra alcuni fra i più importanti giacimenti.

In ogni modo, come si vede, buona parte dei nostri combustibili (circa la metà in tonnellaggio, molto meno in equivalenza termica) è rappresentata da combustibili poveri, torbe e ligniti torbose, o torbolegnose, con alto tenore in umidità (da un minimo di 30 a una media normale di 45-55 % per le ligniti e a un massimo di 85-95 % per le torbe) con un tenore in ceneri che, salvo casi eccezionali, va dal 10 fino al 40 % sul combustibile secco. Il potere calorifico superiore sul combustibile secco va da 3500 a 4500 per le torbe, da 2200 a 5200 per le ligniti torbose, da 5200 a 6300 per le torbolegnose.

L'ultimo gruppo si avvicina invece per caratteristiche termiche ai litantraci, con tenori in umidità e in ceneri molto minori che per le precedenti ligniti e un potere calorifico che anche sui combustibili tal quali oscilla tra le 6000 e le 7500 Calorie.

Un gruppo a sè stante costituiscono, fra le ligniti torbolegnose le ligniti xiloidi resinose, delle quali offre un tipico esempio la cosiddetta lignite bianca del Valdarno, irregolarmente e intima-

Dati analitici relativi ai principali

N.	REGIONI E PROVINCIE	NOME DEL GIACIMENTO O MINIERA	CARATTERISTICHE DEL GIACIMENTO
	Torbe:		
1	Toscana (Lucca) . .	Massaciuccoli	Banco da 3,30 a m. 6 . .
2	Abruzzi (Aquila) . . .	Campotosto	Banco da 6 a m. 14 . . .
	Ligniti torbose:		
3	Lombardia (Bergamo)	Valgandino e Leffe . . .	Due strati di 5-8 m. rispettivamente. Pliocene.
4	Toscana (Firenze) . .	Bacino del Mugello, Gagliano, Lumena e Barberino.	Da uno a tre strati della potenza media da m. 1,50 a m. 3. Pliocene.
5	Umbria (Perugia) . .	Giacimento di Val Nestore (miniere di Tavernelle e Pietrafitta).	Un banco da m. 1,50 a m. 12: in media m. 6-7. Pliocene o più recente.
6	—	Gualdo Cattaneo	Tre a cinque strati da m. 1,20 a m. 11: uno è in media di m. 5-6. Pliocene.
7	Campania (Benevento)	Morcone	Tre strati uno di circa m. 4, uno di m. 2 ed uno di m. 4, separati da m. 8 di argilla quaternaria.
8	Basilicata (e in parte Calabria)	Bacino del Mercure . . .	Attualmente conosciuti 2 strati della potenza sino a m. 8: la potenza media dello strato più importante è di almeno m. 3. Quaternario.
	Torbolegnose:		
9	Umbria (Perugia) . .	Spoleto (Morgnano, S. Angelo e S. Silvestro).	Un bacino da m. 5 a 7. Pliocene. 25 % materia legnosa.

TABELLA I.

giacimenti di combustibili solidi italiani.

Entità del giacimento mc. o tonn. presunta	Umidità di miniera %	Combustibile secco			Combustibile puro (senza ceneri e senza umidità					
		Ceneri %	Sost. Vol. %	Pot. cal. sup.	C %	H %	O %	N %	S %	Pot. cal. sup.
100.000.000 mc. (15.000.000 T.)	95	25-30	48-50	3400-3500	52,12	5,28	35,46	2,33	4,78	4530
50.000.000 mc. (7.500.000 T.)	85	18-20	57,5	4200-4600	56,17	5,79	34,21	2,73	1,05	5000
4-6.000.000 tonn.	50	10-15	47-52	5300	65,81	5,05	25,97	2,09	1,08	5940
15.000.000 »	40	20-50	20-50	2200-5300	62,58	4,58	29,16	1,56	2,12	5660
20.000.000 »	40-60	20-40	34-45	3200-4700	65,90	4,96	25,96	1,64	1,54	5940
30.000.000 »	30	20-28	45-65	3700-4700	65,58	4,62	25,82	1,90	2,08	5960
30.000.000 »	45	18-35	40	3800-4000	63,48	4,79	27,84	2,31	1,58	5860
75.000.000 »	45-50	23-32	40-48	3700-4800	61,32	4,29	29,78	1,50	3,11	5540
15.000.000 »	35	10-12,00	62	5250	65,09	4,72	27,11	1,30	1,92	5930

Dati analitici relativi ai principali

N.	REGIONI E PROVINCIE	NOME DEL GIACIMENTO O MINIERA	CARATTERISTICHE DEL GIACIMENTO
10	Toscana (Arezzo e Firenze)	Valdarno	Banco di m. 1,50 a m. 30. Pliocene.
		Tipo *A* Lignite bianca . .	—
		Tipo *B* - Lignite bruna .	—
		Tipo *C* - Bruna terrosa .	—
		Tipo *D* - Pula scelta di min.	—
		Tipo *E* - Pula di miniera .	—
	Picee - Carbone triassico, Carbone sardo.		
11	Venezia Giulia	Bacino dell'Arsa	Vari strati, da pochi cm. ad 1 e 2 m. Eocene.
		Tipo *A* - Pezzi	—
		Tipo *B* - Polvere	—
12	Toscana (Grosseto) . .	Val della Bruna (Ribolla), Casteani, Collacchia, Poggio alla Foglia.	Banco principale coltivato: da m. 5 a 8. Miocene.
		Tipo *A*	—
		Tipo *B*	—
13	Sardegna (Cagliari) . .	Gonnesa	Strati vari di potenza varia Eocene.
		Tipo *A* - Bacu Abis . . .	—
		Tip *B* - Caput Aquas . .	—

N. B. — Non si posseggono ancora dati analitici definitivi relativi al carbone del Sulcis per il quale è prevista una potenza di 450.000.000 di tonn. È comunque accertato che si tratta di carbone nettamente migliore di quello

Segue: Tabella I·

giacimenti di combustibili solidi italiani.

Entità del giacimento tonn.	Umidità di miniera %	Combustibile secco			Combustibile puro (senza ceneri e senza umidità)					
		Ceneri %	Sost. Vol. %	Pot. cal. sup. %	C %	H %	O %	N %	S %	Pot. cal. sup.
60-90.000.000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—		1,5		6300	63,42	5,75	29,83	0,48	0,52	6396
—		6,8		5760	65,00	4,72	28,08	1,12	1,08	6180
—	45-55	17,3	38-63	5030	63,26	5,02	28,69	0,96	2,07	6082
—		11,7		5500	64,04	5,26	28,69	0,89	1,12	6230
—		15,3		5350	63,20	3,86	31,11	0,78	1,05	6317
100.000.000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	2-10	13,91	45,60	7020	75,66	6,16	5,24	1,24	11,70	8150
—		20,74	39	6237	72,85	5,45	9,41	1,26	11,03	7870
40.000.000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	10-12	23,75	44	5647	77,57	5,70	16,32	2,36	2,45	7400
—		26,76	42,75	5652	68,77	5,87	20,36	2,30	2,54	7700
50.000.000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	3-6	18,63	38,42	6214	73,50	5,13	9,23	1,78	10,36	7640
—		11,12		6837	75,02	4,86	6,67	2,43	11,02	7690

del Gonnesa per minor contenuto in ceneri e maggior potere calorifico. Quanto ai giacimenti di antracite piemontesi, la cui potenza è presunta di 12-13 milioni di tonn. è caratterizzata dall'alto tenore in ceneri (20-25 %).

mente mescolata, in proporzione di circa il 10 % con la lignite bruna. Questa lignite per il suo basso tenore in ceneri, l'alta percentuale di idrogeno e l'eccezionale ricchezza in bitume costituisce un combustibile caratteristico, con particolari possibilità di impiego soprattutto per quel che si riferisce alla trasformazione chimica (distillazione, idrogenazione, estrazione).

D'altra parte nel gruppo delle ligniti picee e dei litantraci giovani una classe a parte e assolutamente tipica per caratteristiche chimiche e possibilità di impiego, nonchè probabilmente per affinità genetiche costituiscono i carboni « solforati » e cioè sia il carbone liburnico dell'Istria che i carboni sardi dei vecchi e nuovi giacimenti, con il loro eccezionale tenore di zolfo (intorno al 10 %). I sistematici studi della Sezione Combustibili sopra la natura di questo zolfo e il suo comportamento alla combustione e alla distillazione hanno dimostrato trattarsi di uno zolfo di natura prevalentemente organica, facilmente volatile e facilmente combustibile. (V. Tabella II).

La *produzione globale* delle nostre miniere di combustibili solidi fu nel 1938 di circa tre milioni di tonnellate delle quali circa un milione di tonnellate dalle miniere dell'Istria, mezzo milione da quelle della Sardegna, 800.000 dai bacini del Valdarno, 170.000 da ligniti picee toscane, 120.000 di antracite del Piemonte, il resto dalle altre miniere lignitifere, soprattutto dell'Umbria.

Secondo gli accurati rilievi dell'Associazione Nazionale per il Controllo della Combustione, la produzione annuale delle miniere attualmente in attività potrà raggiungere nel futuro, con gli attuali mezzi d'opera, tonnellate 4.200.000 circa e con nuovi impianti minerari oltre sette milioni e mezzo di tonnellate delle quali tre milioni di tonnellate dalle miniere sarde, un milione e duecento mila tonnellate rispettivamente dalle miniere istriane e da quelle del Valdarno. Secondo il piano studiato dalla Corporazione delle Industrie estrattive entro il 1941 le miniere di lignite del Valdarno dovrebbero produrre 1.200.000 tonnellate, le miniere sarde 1.800.000, e quelle dell'Istria 1.500.000 di tonnellate, mentre per le le ligniti picee della Toscana è prevista una produzione di 300.000 tonnellate, con un totale complessivo per le miniere italiane attualmente in attività di 6.300.000 tonn. Infine per le miniere attualmente inattive lo studio dell'A. N. C. C. prevede una produzione possibile futura di circa un milione di tonnellate.

TABELLA II.

Forme di combinazione e comportamento dello zolfo nei carboni della Sardegna e dell'Istria.

COMPORTAMENTO ALLA COMBUSTIONE

Combustibile	Zolfo totale %	Zolfo combustibile %	Zolfo fisso %
Carbone dell'Arsa (tab. II, n. 11) . . .	10,63	7,56	3,01
Carbone di Bacu Abis (tab. II n. 13-*A*)	8,51	5,30	3,20
Carbone di Caput Aquas (tab. II, n. 13-*B*)	9,85	7,90	2,87

FORME DI COMBINAZIONE DELLO ZOLFO

Combustibile	Zolfo solfatico %	Zolfo piritico %	Zolfo organico %
Carbone dell'Arsa	0,10	0,52	9,90
Carbone di Bacu Abis	0,31	3,41	4,70
Carbone di Caput Aquas	0,18	2,47	6,93

COMPORTAMENTO ALLA DISTILLAZIONE A VARIE TEMPERATURE E ALLA PROVA MUCK PER SOSTANZE VOLATILI

Temperatura della distillazione	Carbone dell'Arsa % zolfo nel			Carbone di Bacu Abis % zolfo nel			Carbone di Caput Aquas % zolfo nel		
	distillato solido	distillato liquido	distillato gassoso	distillato solido	distillato liquido	distillato gassoso	distillato solido	distillato liquido	distillato gassoso
400°	5,98	1,54	3,11	6,05	1,04	1,43	6,85	1,27	1,63
700°	3,30	3,13	4,20	4,50	1,97	2,08	5,20	2,00	2,55
1000°	1,86	3,60	5,17	3,70	1,91	2,99	3,89	1,95	4,11
Prova Muck	3,91	6,72		4,18	4,39		4,46	5,39	

A parte le rettifiche delle quali potranno essere oggetto nella realtà queste previsioni è importante di vedere per quali strade dovrà indirizzarsi questa produzione e a quali sostituzioni di carbone estero essa potrà dar luogo.

Utilizzazione dei combustibili solidi nazionali.

I. - *Utilizzazione termica diretta.*

La gravità della nostra dipendenza economica in fatto di combustibili solidi orienta attualmente l'impiego della produzione nazionale in primo luogo verso la combustione diretta per sostituire il carbone importato nel riscaldamento domestico e industriale e nella produzione di energia dovunque ciò sia possibile.

L'uso diretto si impone generalmente in due casi estremi:

1) Per quelli fra i nostri combustibili che per scadenti caratteristiche e per pezzatura non si prestino nè al trasporto nè a trasformazioni chimiche a bocca di miniera.

A questo proposito si può dire che non esiste combustibile, per cattivo che sia, che da un punto di vista strettamente tecnico non sia suscettibile di impiego termico « in situ », segnatamente per produzione di energia, ricorrendo a griglie e focolari speciali e ad opportuni accorgimenti, così come pratica su larghissima scala la Germania dove, per esempio, tutta l'energia necessaria ai giganteschi impianti chimici della I. G. a Leuna è prodotta per combustione di 15.000 tonnellate giornaliere di lignite terrosa, paragonabile alle nostre peggiori qualità.

2) Per le qualità migliori prodotte dai nostri giacimenti, per tutti quei combustibili cioè che per le loro caratteristiche termiche e tecniche non si discostino troppo dai buoni carboni stranieri e possano a questi sostituirsi senza troppi inconvenienti.

A questa categoria appartengono, dedotti gli scarti di miniera e di laveria, le antraciti piemontesi, i carboni liburnici e quelli sardi, le ligniti picee e, limitatamente ad un certo raggio di azione, le qualità e pezzature migliori ricavate dai nostri giacimenti di ligniti legnose e torbolegnose.

A estendere e migliorare le possibilità in questo campo devono concorrere oltre all'incoraggiamento degli Enti Governativi che si manifesta con l'assistenza tecnica, con premi, facilitazioni ferroviarie e fiscali e provvedimenti varii, da parte dei produttori un'oculata organizzazione tecnica e commerciale, e l'adozione di processi di preparazione meccanica (cernita, lavaggio, essicca-

mento, bricchettazione), da parte degli utenti, l'adattamento degli apparecchi di utilizzazione, la polverizzazione, la trasformazione in gas povero ecc.

Veramente decisiva può dirsi in questo campo l'opera della Associazione Nazionale per il Controllo della Combustione la quale attraverso le sue 11 Sezioni in tutta Italia, vigila e controlla circa 10.000 impianti termici, consiglia e collauda tutti i nuovi impianti, stimola il rinnovamento di quelli poco efficienti, suggerisce gli adattamenti necessari per l'uso dei combustibili nazionali, favorisce in ogni modo l'impiego di questi ultimi, nonchè la sostituzione dell'energia termica con la elettrica dovunque ciò sia possibile.

In un recente fondamentale studio l'Associazione ha accuratamente calcolato e studiato quali sono le quote per le quali i combustibili nazionali contribuiscono a coprire il nostro fabbisogno termico per i vari impianti e nelle varie regioni d'Italia, e quali potrebbero diventare con il graduale adattamento degli impianti e la graduale sostituzione del carbone importato.

I risultati di questo studio sono riassunti nella Tabella III dalla quale si vede che da un contributo attuale del 16,7 % si potrebbe gradualmente arrivare a coprire oltre il 50 % del fabbisogno termico nazionale con combustibili indigeni e ciò tenendo conto delle effettive possibilità ed esigenze tecniche dei vari impianti e del raggio di azione dei diversi giacimenti.

Le statistiche e le previsioni della benemerita Associazione si riferiscono agli impianti da essa controllati con un consumo complessivo di circa 7.700.000 tonnellate annue di carbone, ragguagliato a litantrace.

Fra gli esempi più importanti della utilizzazione razionale dei nostri combustibili in sostituzione di carboni esteri sono da citare:

1) L'antracite di Aosta che, malgrado il suo elevato tenore in ceneri, viene agglomerata in ovuli per uso domestico, viene gassificata dalla Società « Cogne » in mescolanza con coke, bruciata in generatori di vapore con griglie « Martin » a spinta inversa e impiegata con buoni risultati in forni a cemento.

2) Il largo sviluppo dato all'uso del carbone istriano, malgrado il suo elevato tenore in zolfo, come carbone da vapore, con rendimenti elevatissimi nonchè in forni da laterizi, e, polverizzato, in forni da cemento.

3) L'impiego del carbone sardo analogo a quello istriano per caratteristiche chimiche ma termicamente più povero. Da mettere particolarmente in rilievo l'alimentazione con il carbone

sardo polverizzato nelle centrali termoelettriche di Cagliari e, prossimamente, di quelle del Sulcis e di S. Antioco.

Come è già stato messo in rilievo con gli ultimi ritrovamenti le miniere sarde hanno assunto il primo posto nel nostro patrimonio carbonifero e l'A. C. A. I. studia e sviluppa insieme con il graduale incremento della produzione, razionali programmi per la loro utilizzazione.

Tabella III.

Partecipazione attuale e possibile futura dei combustibili nazionali al fabbisogno termico italiano.

Impianti termici controllati dall'A. N. C. C.

	Attuale %	Possibile futura %
Generatori di vapore	23,6	77,9
Forni per calce e gesso	12,2	21,0
Forni per cemento	20,7	63,9
Forni per laterizi	37,4	91,7
Forni per ceramiche	9,5	19,5
Forni per vetrerie	1,9	41,0
Forni per industrie metallurgiche e siderurgiche	4,9	18,9
Forni varî	15,2	37,3
Motori termici a gas	11,7	28,7
Impianti per la trasformazione dei combustibili	4,8	19,3
Impianti di riscaldamento	12,0	34,3
In totale	16,7	54,0

4) L'impiego della lignite xiloide del bacino minerario del Valdarno dove la pezzatura più grossa, scelta e seccata all'aria viene venduta a singoli utenti vicinali, mentre buona parte della « pula » viene impiegata dalle Ferriere di S. Giovanni Valdarno o bruciata in polvere nella centrale termoelettrica di Castelnuovo dei Sabbioni e un moderno impianto di agglomerazione produce intorno a 50.000 tonnellate-anno di ottime mattonelle a 4800-5000 Calorie.

5) L'adozione di moderni sistemi di essiccamento con acqua surriscaldata o vapore sotto pressione per la lignite del Valdarno e per quella dei giacimenti umbri intorno a Spoleto.

6) La gassificazione delle ligniti picee di Ribolla e di quelle dell'Umbria per l'alimentazione di forni siderurgici, e quella delle ligniti di Gualdo Cattaneo per produzione di energia mediante alternatori accoppiati con motori a gas.

Seguendo queste direttive la Corporazione delle Industrie Estrattive prevede di sostituire in due o tre anni quattro milioni almeno di combustibile estero, senza contare la graduale sostituzione della trazione a vapore con quella elettrica che ha già portato le Ferrovie dello Stato a risparmiare oltre un milione e mezzo di tonnellate-anno.

Utilizzazione chimica dei combustibili solidi nazionali.

L'utilizzazione chimica dei combustibili solidi, oggetto di studi e progressi continui e di mirabili realizzazioni in questi ultimi tempi, soprattutto da parte dei tecnici e industriali tedeschi (1), può avviarsi essenzialmente per tre vie:

1) distillazione;

2) gassificazione a miscele di ossido di carbonio e idrogeno seguita da sintesi chimiche;

3) idrogenazione diretta.

Distillazione. — L'operazione industriale che piglia impropriamente il nome di distillazione dei combustibili solidi, viene da ormai circa un secolo applicata ai litantraci nelle fabbriche di coke e di gas illuminante e in realtà potrebbe piuttosto assimilarsi al craking o piroscissione degli oli minerali in quanto consiste essenzialmente in un riscaldamento fuori del contatto dell'aria in condizioni tali da provocare la demolizione dell'edificio molecolare, con formazione di prodotti gassosi e liquidi (aventi valore termico e chimico) e di un residuo solido (coke, semicoke, carbone) avente caratteristiche fisiche, chimiche e termiche differenti e differenti possibilità di impiego del combustibile solido originario.

---

(1) In Germania la utilizzazione razionale delle ligniti è stata sviluppata gradualmente in questi ultimi anni, impegnando ormai oltre 200 milioni di tonnellate annue. Questo tonnellaggio supera quello del carbon fossile estratto, che viene riservato agli usi più nobili e all'esportazione.

La distillazione brusca ad alta temperatura (1000-1200° C.) come viene praticata per i litantraci nella produzione di gas di città o di coke, non entra generalmente in questione per i nostri combustibili e si deve piuttosto parlare della cosiddetta distillazione a *bassa temperatura* eseguita cioè a temperature inferiori ai 550-600° C., e in condizioni tali da evitare quanto è possibile il surriscaldamento e da facilitare l'asportazione graduale dei prodotti volatili della decomposizione.

I residui solidi ottenuti in queste condizioni, come è noto, non hanno niente che vedere con il coke delle alte temperature, in quanto, generalmente e a meno di ricorrere a speciali sistemi, sono poco o punto agglomerati, e contengono inoltre ancora un po' di sostanze volatili cosicchè il loro comportamento alla combustione è intermedio tra quello dei litantraci e quello dei coke o delle antraciti.

La resa in gas nella distillazione a bassa temperatura è bassa ed è per contro elevata, nei confronti con la distillazione ad alta temperatura, la resa in catrame. La qualità di questi catrami è sostanzialmente differente da quella dei catrami di alta temperatura mancando i prodotti aromatici derivati dalla pirogenazione spinta. Del resto quantità e qualità dei prodotti della distillazione a bassa temperatura variano moltissimo a seconda dei combustibili trattati.

Una impostazione economica della distillazione a bassa temperatura per i nostri combustibili deve tener presenti le seguenti considerazioni basilari:

1) La distillazione a bassa temperatura conduce a buoni risultati soltanto se applicata a combustibili pregiati e deve quindi andare a cercare la materia prima fra quegli stessi combustibili che potrebbero con vantaggio essere destinati alla combustione diretta.

2) La distillazione a bassa temperatura se richiede minor dispendio di calore e materiali meno costosi che la distillazione ad alta temperatura si risolve in generale in maggiori spese di impianto e di esercizio per la molto minor portata volumetrica degli impianti, nonchè per la necessità di condurre il riscaldamento con maggior cautela e gradualità.

3) La distillazione a bassa temperatura, a differenza di quella ad alta temperatura che tende a livellare i risultati, è un processo eminentemente differenziativo nel senso che i risultati quantitativi e qualitativi, tecnici ed economici dipendono molto più che dal sistema di distillazione dalle caratteristiche chimiche del combustibile trattato.

4) Per quanto la distillazione a bassa temperatura completata da eventuali operazioni di idrogenazione possa portare un prezioso contributo alla produzione di combustibili liquidi e surrogati dei prodotti petroliferi partendo da combustibili solidi, non bisogna dimenticare che il prodotto più importante nel bilancio ponderale e calorimetrico è sempre rappresentato dal residuo solido e che dalle caratteristiche e possibilità di collocamento o impiego di questo essenzialmente dipende il successo economico dell'operazione.

Ora se i semicoke provenienti dal trattamento di combustibili ossigenati o solforati come sono per la maggior parte quelli italiani, possono risultare chimicamente e termicamente arricchiti nei confronti con il combustibile originario, tuttavia per l'alto tenore in ceneri (che naturalmente vanno a concentrarsi nel residuo solido della distillazione) per la friabilità e scarsa attitudine al trasporto, essi rappresentano spesso dei combustibili di più difficile collocamento di quelli originari. Occorre allora o pensare a impieghi sul posto oppure a sistemi di agglomerazione seguiti eventualmente, secondo la tecnica più moderna, da una ridistillazione, il che naturalmente aumenta considerevolmente il costo di questi prodotti.

La distillazione a bassa temperatura è stata oggetto di studio sistematico e comparativo da parte della Sezione Combustibili, anche per quanto si riflette alle possibili lavorazioni dei prodotti ottenuti, segnatamente dei catrami.

La Tabella IV riassume appunto i risultati delle prove di distillazione a bassa temperatura eseguite sopra gli stessi giacimenti per i quali abbiamo già riportato i dati analitici.

Ne risulta che per la maggior parte dei nostri combustibili la distillazione industriale a bassa temperatura è fortemente ostacolata dall'alto tenore in sostanze incombustibili che si concentrano nel semicoke. Questo fatto, insieme alla fusibilità delle ceneri, alla friabilità del semicoke lo rendono poco adatto al trasporto e alla vendita come combustibile, e possono obbligare, come già accennato, a cercarne lo smaltimento in collocamenti meno rimunerativi sul luogo (per es. produzione di energia come si fa su larghissima scala in Germania) oppure a ricorrere a costosi processi di agglomerazione.

Fanno eccezione i semicoke di alcune ligniti resinose povere in ceneri come, tipicamente, la lignite bianca del Valdarno, e quelli dei carboni sardi dai quali un nuovo processo italiano riesce a ricavare un ottimo prodotto agglomerato.

Risultati della distillazione a bassa

QUALITÀ DEL COMBUSTIBILE E RISPETTIVI GIACIMENTI O MINIERE	SEMICOKE (Secco)				GAS			
	Resa per 100 gr. di comb. secco	Ceneri %	Solfo %	Pot. cal. sup. %	Resa in litri per 100 gr. di comb. secco	COMPOSIZIONE		
						H_2S	CO_2	Idr. n. s.
Torbe:								
Massaciuccoli	63,5	40,5	3,90	4360	10,4	6,5	66,0	2,8
Campotosto	56,8	31,4	0,89	4720	10,4	2,2	59,4	2,3
Ligniti torbo-legnose:								
Valgandino e Leffe . . .	60,4	15,2	0,80	5750	11,0	2,5	56,8	4,2
Bacino del Mugello Barberino	66,0	25,1	0,99	5320	9,6	7,1	48,7	2,8
Giac. di Val Nestore: Pietrafitta	64,2	27,8	1,16	5420	9,9	2,6	58,4	2,7
Gualdo Cattaneo	71,5	27,2	1,05	5570	11,4	2,8	55,6	2,8
Morcone	73,7	40,4	1,80	4470	8,2	3,2	47,9	4,2
Bacino del Mercure . . .	70,2	34,1	2,82	4480	10,1	3,9	62,8	3,0
Valdarno:								
Tipo *A* - Lignite bianca .	38,1	2,0	0,46	8160	9,8	3,1	27,4	3,5
Tipo *B* - Lignite bruna .	57,3	12,6	0,62	6900	13,8	6,9	40,8	2,6
Tipo *C* - Bruna terrosa .	63,5	27,7	1,32	5170	11,7	1,3	50,2	2,8
Tipo *D* - Pula di min. . . .	58,4	17,0	0,50	6330	13,4	trac.	45,3	2,4
Spoleto	56,4	17,1	1,70	6480	10,9	2,0	51,5	4,7
Ligniti picee e carboni:								
Bacino dell'Arsa	66,3	21,1	5,78	6160	8,3	31,3	7,0	5,6
Val della Bruna (Ribolla)	77,7	29,9	1,91	5520	6,0	4,0	20,5	5,3
Gonnesa:								
Bacu Abis	72,8	31,5	6,80	5470	5,7	29,1	15,9	5,7
Caput Aquas	72,4	20,3	7,90	5510	5,0	26,1	14,3	7,5

TABELLA IV.

temperatura di combustibili italiani.

SENZ'ARIA						CATRAME ANIDRO						
CENTESIMALE					Pot. cal. sup. (calc.)	Resa in gr. per 100 gr. di comb. secco	COMPORTAMENTO ALLA DISTILLAZ. % IN PESO			Fenoli %	Paraffina %	Solfo %
CO	H_2	CH_4	C_2H_6	N_2			< 200°	200° 300°	> 300°			
10,3	—	12,4	—	2,0	2450	6,8	14,2	40,3	45,5	43,3	9,0	—
13,6	9,3	10,4	—	2,8	2280	11,5	16,7	39,0	44,3	59,2	6,1	—
11,2	9,1	15,1	—	1,1	3050	12,8	13,8	35,4	50,8	31,9	8,6	—
13,2	9,8	16,4	—	2,0	3220	4,4	19,4	41,8	38,8	46,1	8,6	—
14,4	—	20,3	—	1,6	3070	4,8	20,5	33,7	45,8	22,7	9,3	—
11,8	12,4	11,4	—	3,2	2550	5,1	12,0	40,0	48,0	6,0	11,6	—
15,1	7,4	20,0	—	2,2	3620	6,1	13,2	46,4	40,4	62,4	4,8	—
10,6	6,7	10,0	—	3,0	2310	2,7	25,0	38,1	36,9	23,1	12,5	—
26,6	3,1	27,3	2,3	6,7	4770	25,6	5,0	56,6	38,4	44,4	1,0	0,54
18,2	5,7	14,2	4,6	7,0	3780	5,0	9,4	59,8	30,8	28,5	5,3	0,38
9,5	14,1	16,4	0,9	4,8	3070	8,0	8,2	44,9	46,9	24,4	—	1,43
17,5	10,6	17,8	3,5	3,0	3610	10,6	13,0	50,9	36,1	24,5	—	0,99
20,7	4,4	14,4	1,0	1,3	3360	10,3	15,2	60,0	24,8	66,5	1,7	—
3,5	7,1	32,2	8,5	4,8	7820	16,6	16,4	56,1	27,5	8,0	1,0	8,83
7,5	11,8	34,8	12,3	3,8	7240	8,7	15,2	43,9	40,9	16,6	3,1	1,89
8,4	3,8	22,0	7,6	7,5	6640	11,7	16,6	27,2	56,2	35,4	7,1	—
5,1	—	32,7	7,8	6,5	7440	15,8	16,7	26,3	57,0	29,8	6,9	—

Per quanto riguarda i gas, essi sono generalmente ricchi di anidride carbonica e idrogeno solforato, ciò che ne abbassa il potere calorifico e le possibilità di impiego o rende necessarie separazioni o depurazioni. Generalmente tuttavia si preferisce servirsi di questi gas per il riscaldamento dei forni di distillazione.

Quanto ai catrami essi si possono distinguere in tre categorie fondamentali, dal punto di vista della loro valutazione tecnica e della loro eventuale lavorazione e utilizzazione:

1) catrami paraffinici;
2) catrami acidi;
3) catrami solforati.

I *catrami paraffinici* si ottengono generalmente con rese poco elevate da torbe, ligniti torbose e anche picee e sono i più adatti ad essere lavorati per distillazione ed eventualmente estrazione selettiva; la Tabella V dà il quadro di una lavorazione messa a punto dalla Sezione combustibili per il catrame primario della lignite di Ribolla.

TABELLA V.

Risultati della lavorazione semi-industriale del catrame primario della lignite di Ribolla.

Acqua	gr.		22,00
Fenoli:			
sotto 210°	gr.	51,55	
210°-300°	»	62,87	
sopra 300°	»	6,53	
residuo e perdite	»	20,72	
TOTALE	gr.		141,78
Basi	gr.		93,99
Olii neutri:			
Sotto 210°	gr.	111,29	
210°-250°	»	37,53	
sopra 250°	»	191,70	
residuo e perdite	»	6,16	
TOTALE	gr.		346,68
Paraffina	gr.		21,52
Pece e asfalto	»		79,03
Residuo della distillazione nel vuoto (coke pecioso)	»		252,00
Perdite totali	»		43,00
TOTALE	gr.		1000,00

I *catrami acidi* si ottengono, con rese talora elevatissime, da ligniti xiloidi resinose delle quali offre un tipico esempio la lignite bianca del Valdarno. Essi mal si presterebbero ai comuni processi di distillazione e utilizzazione.

Per distillazione ed estrazione dànno oltre il 50 % di prodotti acidi tra i quali i nostri studi dimostrarono presenti 5-6 % di acidi carbossilici e sostanze di natura uminica.

Di queste frazioni acide dimostrammo l'elevato potere antimicotico e la possibilità di ricavare sostanze atte all'impregnazione del legname nonchè, per reazione con formaldeide, prodotti di condensazione acida e basica.

Ma la strada maestra per il trattamento di questi catrami sembra essere offerta dalla idrogenazione catalitica sotto pressione, per la quale le frazioni fenoliche possono quantitativamente essere trasformate in idrocarburi aromatici con elevati tenori di benzolo o toluolo. Come gli studi della Sezione Combustibili hanno dimostrato l'idrogenazione può farsi sia in due fasi sul catrame tal quale, sia in una fase sola sugli olii distillati o sulle frazioni fenoliche ricavate per estrazione. Inoltre l'idrogenazione può opportunamente orientarsi in modo da aumentare la resa di toluolo, a scapito di quella in benzolo e viceversa.

Diamo a questo proposito alcune notizie sui risultati della idrogenazione da noi eseguita, seguendo diversi cicli di lavorazione sopra due catrami acidi ricavati per distillazione di ligniti xiloidi resinose; la lignite bianca del Valdarno e la lignite del giacimento di Liliano (Siena).

Il tenore in fenoli o prodotti acidi di questi catrami era dell'ordine del 50 % in tutti e due i casi. L'idrogenazione fu eseguita in bomba a funzionamento discontinuo raggiungendo temperature massime di 450-500° C., e pressioni di 250 atm., con catalizzatori a base di molibdeno o di cobalto. La quantità di idrogeno assorbito variava, a seconda dei casi, dal 4 fino al 9 % del materiale trattato. La riduzione dei fenoli era generalmente quantitativa. I risultati riassuntivi sono raccolti nella Tabella VI.

Quanto ai *catrami solforati* essi si ricavano dai carboni sardi e istriani con rese notevoli. Il loro studio non è stato approfondito. Lo zolfo del carbone (V. Tabella II) durante la distillazione finisce in misura notevole nei prodotti liquidi (dal 4 al 7 % nei prodotti leggeri, dall'8 al 10 % negli olii pesanti). Evidentemente questo può costituire ostacolo alla distillazione a bassa temperatura e alla messa in valore del catrame, messa in valore che potrà raggiungersi soltanto attraverso una desolforazione a fondo.

I comuni processi di desolforazione sono poco efficienti su questi prodotti ma per idrogenazione catalitica ad alta pressione riuscimmo a ottenere olii completamente desolforati con notevoli percentuali di frazioni leggere. Anche questi catrami devono dunque, come i catrami acidi, considerarsi un materiale particolarmente idrogenabile.

TABELLA VI.

Risultati ottenuti da catrami acidi per idrogenazione diretta o previa lavorazione.

	Idrocarburi totali	Benzine fino a 190°	Idrocarburi aromatici fino a 190°
a) *Rese su 100 gr. di catrame della lignite di Valdarno.*			
Idrogenazione del catrame greggio .	57,68	36,90	22,30
Frazionamento per distillazione ed idrogenazione delle frazioni . . .	56,97	40,40	24,19
Frazionamento per estrazione ed idrogenazione delle frazioni	52,49	39,02	23,76
Frazionamento, defenolazione e idrogenazione dei fenoli	67,22	22,73	15,17
b) *Rese su 100 gr. di catrame della lignite di Liliano.*			
Idrogenazione del catrame greggio .	52,55	31,73	20,01
Frazionamento per distillazione e idrogenazione delle frazioni	52,57	33,48	22,57
Frazionamento per estrazione e idrogenazione delle frazioni	41,79	33,38	22,84

Naturalmente il consumo in idrogeno è anche in questo caso elevato mentre il trattamento industriale di questi olii e dei gas che ne derivano solleva problemi tecnologici delicati che sono però dello stesso ordine di quelli affrontati e risolti per il trattamento di petroli asfaltici solforati, come, tipicamente, i petroli albanesi lavorati dall'A. N. I. C.

La distillazione a bassa temperatura su ligniti e carboni bituminosi ha ormai largo sviluppo in alcuni paesi, soprattutto in Germania, dove, associata con l'idrogenazione dei catrami, costituisce la principale sorgente di benzina sintetica indigena. Anche

in Italia, nonostante le peculiari difficoltà tecniche ed economiche alle quali abbiamo in parte accennato, agli studi di laboratorio e alle esperienze semi-industriali fanno ormai seguito le realizzazioni su larga scala. Una unità industriale per il trattamento annuale di 100.000 tonn. di carbone del Sulcis con sistema italiano, è prossima ad entrare in funzione in Sardegna, mentre progetti indutriali, principalmente rivolti al trattamento delle ligniti torbo-legnose toscane, sono allo studio presso l'A. N. I. C.

Utilizzazione chimica integrale dei combustibili solidi.

La distillazione a bassa temperatura è da considerarsi un processo intermedio fra la trasformazione chimica e la utilizzazione diretta dei combustibili solidi in quanto lascia disponibili sotto forma di semicoke una buona percentuale delle calorie solide originarie.

Per questa ragione e perchè essa si appoggia ormai su studi, esperienze e realizzazioni esaurienti e perchè d'altra parte realizza il ciclo più economico di lavorazione, ho dedicato ad essa, dopo aver trattato della combustione diretta dei nostri combustibili solidi, la maggior diffusione.

Dovremo ora contentarci di un rapido cenno sopra quei processi i quali invece tendono ad una trasformazione chimica integrale dei combustibili solidi alla loro completa trasformazione cioè in calorie liquide e gassose oppure in prodotti di valore chimico.

Gassificazione a gas di sintesi, seguita da sintesi chimiche.

La trasformazione integrale dei combustibili solidi in miscele di ossido di carbonio e idrogeno per reazione con vapor d'acqua si pratica da quasi un secolo industrialmente partendo da coke nei cosiddetti gassogeni a gas d'acqua.

Si tratta, come è noto, di gassogeni a marcia continua ma a funzionamento periodico nei quali cioè per mantenere la temperatura necessaria alla reazione (da 900° a 1000°) si alterna alla reazione endotermica con vapor d'acqua la combustione più o meno completa con aria.

Il gas prodotto veniva finora usato per usi termici nobili, come riscaldamento domestico, o illuminazione (previo miscelamento con gas ricchi), saldatura, funzionamento di motori ecc.

Ma il recente sviluppo delle sintesi catalitiche ha fatto di queste miscele di ossido di carbonio e idrogeno (eventualmente mescolate ad azoto), il punto di partenza per la preparazione di una serie di prodotti del più alto interesse termico e chimico che, in definitiva, hanno per materia prima il carbonio dei combustibili solidi.

È questo un tipico esempio di quel che può la moderna tecnica della sintesi catalitica, la quale partendo da miscele gassose analoghe, in condizioni analoghe di temperatura, ricorrendo al potere selettivo di agenti catalitici e al sussidio della pressione, dirige a piacimento la reazione verso prodotti tra loro diversi per costituzione chimica e possibilità tecniche.

Difatti lavorando *sotto pressioni elevate*, a temperature tra 400° e 500°, su catalizzatori a base di ferro alcalinizzato è possibile sintetizzare tutta una serie di prodotti ossigenati (alcoli, chetoni, aldeidi, acidi); su catalizzatori a base di ossido di zinco e di rame con sistema a circolazione è possibile invece orientare la reazione verso la produzione quantitativa di alcole metilico e di alcoli alifatici superiori. Impiegando catalizzatori a base di nichel o cobalto tra i 250° e i 300° C. è possibile dirigere la sintesi verso la produzione di metano.

Lavorando *a pressione ordinaria o a bassa pressione*, a temperature più basse, pure sopra catalizzatori a base di nichel e cobalto è invece possibile dirigere la reazione verso la formazione di idrocarburi superiori, liquidi, semiliquidi e solidi, alcuni dei quali di altissimo peso molecolare.

È specialmente questa ultima sintesi legata al nome di Fischer e Tropsch e realizzata industrialmente dalla Ruhr Chemie che è oggetto di clamorosa notorietà in quanto è una delle strade per le quali la Germania effettua su larga scala la trasformazione dei suoi carboni e delle sue ligniti in petrolio e benzina sintetica.

L'importanza di questi risultati hanno spinto tecnici e ditte specializzate a mettere a punto la trasformazione in miscele di ossido di carbonio e idrogeno per gassificazione non soltanto di coke ma anche di carboni bituminosi e particolarmente di ligniti. Nei confronti con il trattamento del coke la gassificazione di ligniti o carboni bituminosi a gas di sintesi offre particolari difficoltà tecniche dipendenti da caratteristiche fisiche come l'umidità, la pezzatura irregolare, la friabilità, la fusibilità delle ceneri che rendono più difficile la marcia endotermica e si oppongono a un regolare regime dei gassogeni, nonchè da caratteristiche chimiche come abbondanza di composti solforati e di vapori catramosi.

Le difficoltà sono oggi superate mediante processi che possono classificarsi in tre categorie:

1) Processi discontinui che modificano opportunamente il classico processo a gas d'acqua (processo della V. I. A. G.).

2) Processi a riscaldamento esterno derivati dai forni continui con insufflazione di vapore (steaming) per la distillazione del litantrace (processo Didier).

3) Processi continui che ricorrono all'impiego di ossigeno e vapore eventualmente sotto pressione (processi Winkler, Lurgi, Natta).

4) Processi continui che trasportano il calore necessario alla reazione endotermica mediante ricircolazione di parte del gas prodotto (processi Pintsch-Hillebrand, Schmalfeld).

Poichè le sintesi in questione richiedono determinati rapporti tra idrogeno e ossido di carbonio (principalmente due volumi di idrogeno per uno di ossido di carbonio) si cerca di ottenere la composizione richiesta direttamente dal gassogeno oppure si fanno seguire correzioni, trattamenti catalitici parziali dell'ossido di carbonio, successive eliminazioni dell'anidride carbonica.

Possono inoltre rendersi necessarie particolari depurazioni.

L'applicazione di questi processi va studiata caso per caso per ogni tipo di lignite onde determinare i costi e le rese della gassificazione e la composizione del gas, dati dai quali dipendono a lor volta rese e costi delle successive sintesi.

In Italia funziona da qualche anno un impianto di gassificazione di lignite del Valdarno, previamente essiccata sotto pressione a Figline Valdarno. Il sistema adottato è quello alternativo V. I. A. G. con craking del catrame sul coke rovente. Per trattamento con vapore e aria e successiva ossidazione catalitica dell'ossido di carbonio con vapor d'acqua seguita da lavaggi e depurazioni chimiche, si ricava una miscela adatta alla sintesi di ammoniaca.

Circa dieci tonnellate di ammoniaca al giorno vengono regolarmente prodotte da alcuni anni in questo stabilimento che, pur nelle modeste sue proporzioni e attraverso qualche malattia d'infanzia, rappresenta a tutt'oggi la più brillante trasformazione chimica di lignite realizzata in Italia.

La trasformazione dei carboni bituminosi e delle ligniti in alcole metilico, alcoli superiori o, più ancora in benzina, e petrolio sintetico con sistema Fischer-Tropsch previa gassificazione a gas di sintesi, presenta naturalmente oltre che un interesse chimico un grandissimo interesse termico in quanto apre la strada alla

trasformazione di combustibili solidi anche scadenti in combustibili liquidi. Queste trasformazioni che sono realizzate su larghissima scala in Germania e anche in altri paesi, non hanno ancora avuto in Italia, malgrado molti progetti, il viatico per l'attuazione industriale. A questa si oppongono più che le difficoltà tecniche che possono ritenersi superate o le obiezioni sulla qualità scadente della benzina ricavata, l'alto costo degli impianti e la bassa resa complessiva della trasformazione, ritrovandosi in definitiva nei prodotti liquidi soltanto il 25-30 % delle calorie originarie.

TABELLA VII.

Confronto fra l'idrogenazione diretta delle ligniti e l'idrogenazione dei catrami.

Rese riferite a 100 gr. di lignite anidra.

	Olii totali	Idrocarburi totali	Idrocarburi sotto 190°	Aromatici sotto 190°
Idrogenazione lignite del Valdarno in una ripresa	34,28	30,23	14,22	9,77
Idrogenazione del catrame . .	8,01	8,01	5,12	3,02
Idrogenazione della lignite di Liliano	16,89	16,35	8,25	7,86
Idrogenazione del catrame . .	3,37	3,37	2,03	1,28

Questo naturalmente rende perplessi quando si consideri l'applicazione del processo ai nostri combustibili, dei quali conviene amministrare cautamente le disponibilità relativamente modeste.

La stessa obiezione vale per la liquefazione del carbone ottenuta *per idrogenazione diretta sotto alta pressione*, secondo il sistema legato al nome di Bergius e sviluppato industrialmente dalla I. G.

Questo processo si appoggia su una più antica pratica industriale e porta a prodotti di migliore qualità ma il costo degli impianti e la resa di trasformazione sono dello stesso ordine di grandezza.

Inoltre nei confronti con la gassificazione maggiori difficoltà tecniche si oppongono soprattutto per l'alto tenore in ceneri delle nostre ligniti.

In complesso l'idrogenazione diretta delle ligniti o carboni solidi tende dovunque a cedere il passo di fronte all'idrogenazione dei liquidi e tanto più in Italia dove già esistono e funzionano per sforzo concorde dello Stato e dell'industria privata, due grandiosi e modernissimi impianti per la idrogenazione di liquidi pesanti.

Gli studi e i programmi sembrano dunque orientarsi piuttosto verso la produzione di prodotti liquidi nazionali ricavati dai carboni, dalle ligniti, dalle roccie bituminose, adatti ad alimentare gli impianti di idrogenazione già esistenti. Naturalmente per questa strada la resa è molto più bassa e la quantità di combustibile solido da mettere in giuoco per ricavare una determinata quantità di liquido è molto più grande come dimostra la Tabella VII relativa ad esperienze eseguite dalla Sezione Combustibili sopra l'idrogenazione di ligniti xiloidi toscane e dei loro catrami.

Concludendo si può dire che il patrimonio italiano di combustibili solidi, modesto per proporzioni e difficile per le sue caratteristiche minerarie e chimiche, rappresenta tuttavia una sicura e preziosa riserva termica purchè alla sua valorizzazione presiedano lo studio accurato ed un'adeguata organizzazione mineraria, tecnica e industriale.

Se è vero che la utilizzazione deve prima di tutto cercarsi nella combustione diretta è anche vero, a mio avviso, che non bisogna forzare eccessivamente questa utilizzazione, con esagerate facilitazioni ferroviarie, imposizioni, agevolazioni, uscendo dal raggio di azione e dalla possibilità o convenienza effettive di impiego consentite a determinati giacimenti e a determinate qualità.

Per le qualità più scadenti e in certi casi anche, ove si impongano criteri autarchici selettivi, per le qualità migliori, converrà pure riprendere in esame l'utilizzazione chimica con le sue molteplici e sempre più attraenti possibilità.

UMBERTO MAZZOLINI
DIRETTORE DELL'UFFICIO DI TORINO PER IL CONTROLLO DELLA COMBUSTIONE

Attrezzature e modalità di impiego dei combustibili solidi nazionali.

RIASSUNTO. — *Richiamate le caratteristiche fisico-chimiche che influiscono sulle modalità di impiego dei combustibili, si fa cenno alle caratteristiche dei nostri carboni che hanno maggiore diffusione e si illustrano le attrezzature necessarie per impiegarli col miglior rendimento.*

Le idee correnti circa le possibilità di impiego dei combustibili solidi nazionali sono rimaste per molto tempo — e un po' lo sono tuttora — piuttosto confuse e discordi.

Alcuni — con una concezione alquanto semplicista — affermavano che essi potevano venire sostituiti a quelli di importazione con gli stessi risultati, senza particolari adattamenti e senza modifiche nei metodi di conduzione degli impianti; altri per contro ne escludevano senz'altro qualsiasi possibilità di pratico impiego.

Forse le due opposte tendenze derivavano l'una dall'altra, nel senso che, chi aveva tentato di impiegare i nostri carboni senza preoccuparsi di attuare quegli accorgimenti di cui diremo in seguito, riscontrava tanti e tali inconvenienti che era indotto ad abbandonarli, e attribuiva al combustibile un risultato che era invece prevalentemente dovuto alla propria inesperienza.

È noto che le possibilità e le modalità di impiego dei combustibili dipendono da alcune loro particolari caratteristiche fisico-chimiche e quanto più tali caratteristiche sono spiccate, tanto più le possibilità di impiego sono definite e limitate e tanto più si rendono necessarie speciali attrezzature.

I nostri carboni — almeno quelli più diffusi — quanto a caratteristiche fisico-chimiche stanno precisamente agli estremi opposti nelle consuete classifiche dei combustibili. Da una parte abbiamo i carboni sardi e istriani ricchissimi di materie volatili e quindi di facile accensione ed a lunga fiamma; dall'altra parte abbiamo

l'antracite di La Thuile, di scarsissima reattività, ad elevato tenore in ceneri e quindi di accensione e di combustione molto difficili.

È ovvio che i due carboni vanno trattati in pratica con metodi assolutamente diversi.

Le principali proprietà tecnologiche dei combustibili solidi aventi influenza sulle modalità e sulle apparecchiature di combustione sono — come è ben noto — le seguenti:

a) contenuto in materie volatili *combustibili*;

b) contenuto in idrogeno;

c) contenuto in solfo combustibile;

d) contenuto in ceneri, loro composizione e temperatura di fluidificazione;

e) contenuto in umidità;

f) potere calorifico.

Limitando le nostre considerazioni all'impiego del carbone sardo e di quello istriano, preciseremo che fra queste caratteristiche generiche, quelle che hanno per noi maggiore importanza perchè da esse derivano le maggiori difficoltà sono: *il tenore in materie volatili* che in detti carboni è elevatissimo (il Sulcis e l'Arsa ne contengono il 40 ÷ 45 %); *la composizione delle ceneri*, specialmente in relazione alla loro aggressività rispetto ai materiali refrattari, e *il contenuto in solfo*, che ha azione nociva sui materiali metallici.

La combustione delle materie volatili.

Consideriamo anzitutto i nostri carboni dal punto di vista della combustione delle materie volatili e immaginiamo di bruciarli, per fissare le idee, sulla griglia a tappeto rotante di una caldaia a tubi d'acqua. È questo uno degli impieghi migliori e più diffuso.

Il fossile scendendo dalla tramoggia di carico è portato, con movimento continuo e in strato di altezza costante, nella camera di combustione e la percorre lentamente nel senso della lunghezza. Dapprima si liberano i componenti gassosi (combustibili o no) e il fossile si trasforma in coke che continua a bruciare fino a completa consumazione del carbonio in esso contenuto.

Noi possiamo pertanto dividere idealmente la griglia e la camera di combustione in due zone distinte nella prima delle quali si ha prevalentemente la distillazione dei gas per effetto del calore irradiato dall'ambiente circostante, con formazione di una mescolanza di gas e di aria comburente che sale bruciando verso l'alto.

Nella seconda zona si ha solo carbone cokificato che continua a bruciare fino ad esaurimento; e, alla fine della griglia, dovrebbero restare solo gli inerti, cioè le ceneri; incoerenti, oppure fuse in scorie.

Quando la massa dei gas esistente nella prima zona, nel suo percorso ascensionale incontra una parete fredda — parete che nel caso in esame è costituita dal banco dei tubi vaporizzatori — subisce un rapidissimo assorbimento di calore: la temperatura si abbassa e la combustione cessa.

Se in questo punto vi sono ancora gas combustibili essi vanno al camino in pura perdita.

È necessario quindi che tali gas permangano nella camera di combustione un tempo sufficientemente lungo perchè la loro combinazione con l'ossigeno comburente sia il più possibile completa e perciò occorre che la camera stessa abbia un volume adeguato alla massa dei gas che vi si svolgono. In altre parole occorre che la quantità di calore che si libera per unità di volume della camera di combustione, cioè il carico termico di questa, non superi certi limiti.

Si ritiene generalmente che con i nostri combustibili detto « carico » debba aggirarsi sulle 300 mila calorie per m^3.

È pure necessario, sempre allo scopo, di evitare una insufficiente permanenza dei gas nella camera stessa, mantenere in essa una piccola depressione (non oltre i 2 o 3 mm. di colonna d'acqua), per avere una velocità ascensionale dei gas il più possibile limitata e nello stesso tempo per ridurre al minimo le intempestive entrate di aria.

Abbiamo detto che nella seconda delle zone, in cui idealmente era stato diviso il focolare, si aveva soltanto uno strato di coke in combustione.

In questa seconda zona, — e specie verso la fine di essa — in cui lo strato del carbone è di spessore molto ridotto, l'aria trova una minore resistenza, quindi se ne ha spesso un eccesso; al contrario di quanto avviene nella zona anteriore in cui generalmente si ha eccesso di gas combustibili e deficienza di aria.

È quindi necessario provocare nella massa un mescolamento, una turbolenza che metta a contatto i gas non completamente combusti della zona anteriore con l'aria in eccesso della zona posteriore. E questo si ottiene soffiando aria — detta secondaria — nella parte anteriore del focolare; con che, oltre lo scopo di mescolare la massa dei gas, si dà un ulteriore apporto di ossigeno ove questo più facilmente difetta.

E non è necessario che l'aria secondaria sia insufflata in quantità rilevante, anzi è preferibile che essa lo sia in quantità limitata (anche solo del 10 % dell'aria totale) ma con pressione e quindi con velocità piuttosto elevata, per provocare appunto una forte turbolenza nella massa.

È inoltre preferibile che l'aria secondaria insufflata venga preriscaldata e a ciò si provvede a spese del calore sensibile contenuto nei gas combusti o facendo attraversare ad essa una intercapedine che avvolge la muratura del focolare.

La divisione in due zone della camera di combustione è puramente ideale perchè l'altezza dello strato e la composizione della massa di carbone-ceneri e scorie va modificandosi gradatamente dall'inizio alla fine della griglia; gradatamente quindi diminuisce la resistenza al passaggio dell'aria; e pertanto, per avere nelle varie zone della griglia la quantità di aria approssimativamente necessaria, occorre poterne regolare a volontà l'immissione.

Ciò si ottiene dividendo lo spazio sottostante alla griglia stessa in un certo numero di sezioni, dette compartimenti, in ciascuno dei quali l'aria primaria può essere immessa a volontà mediante appositi registri.

È bene però che quest'aria (a differenza di quella secondaria), non sia preriscaldata, o lo sia solo limitatamente per non esaltare la rapidità di distillazione delle materie volatili.

In conclusione, per l'impiego dei combustibili ad alto tenore di materie volatili e particolarmente dei due nostri più importanti: il Sulcis e l'Arsa, occorrono:

a) *ampie camere di combustione;*

b) *minima depressione nella camera stessa* (da 0 a 3 mm. di colonna d'acqua);

c) *insufflazione di aria secondaria preriscaldata;*

d) *compartimentazione della griglia per l'aria primaria.*

Quanto si è detto fin qui ha riferimento all'impiego di griglie a tappeto rotante, ma può estendersi senza sostanziali varianti a qualsiasi tipo di griglie meccaniche.

Da qualche anno — come è noto — ha assunto, specialmente in America, una grandissima diffusione la combustione a carbone polverizzato.

Il carbone, previa essiccazione fatta in appositi forni, viene macinato a grande finezza e iniettato nella camera di combustione mediante parte dell'aria comburente sotto pressione.

È evidente che con questo metodo avendosi una maggiore superficie di contatto fra le particelle di carbone e l'aria, la combustione si svolge nelle condizioni migliori.

Il sistema è stato applicato con successo ai nostri carboni ed anche qui in Piemonte si hanno impianti del genere che funzionano da anni con piena regolarità.

Valgono per esso le considerazioni già svolte circa il volume della camera di combustione e la necessità dell'aria secondaria; per quanto con il polverizzato, la turbolenza, che qui ha una importanza ancora maggiore, viene raggiunta con un accurato studio della forma e dell'orientamento degli ugelli di iniezione.

Quanto ai sistemi di macinazione, un tempo essi erano del tutto simili a quelli usati per la calce e per il cemento e cioè frantoi e mulini a palle sistemati in un'unica centrale per il servizio di tutte le unità termiche dell'impianto. Questo sistema non sarebbe adatto per i nostri carboni.

Oggi si tende alla macinazione frazionata con mulini di potenzialità limitata, sistemandone uno per ciascun focolare. Essi sono di vario tipo e basati generalmente sull'urto dei pezzi di carbone l'uno contro l'altro, urto determinato da un mezzo meccanico, oppure da una corrente d'aria sotto pressione.

Quanto alla finezza di macinazione, è ovvio che essa dipende principalmente dalla reattività del combustibile: se infatti si dispone di carboni antracitosi, di non facile accensione e di lenta combustione, la macinazione deve essere molto spinta, mentre, se si tratta di carboni ad alto tenore in materie volatili, la finezza può essere più limitata.

La macinazione deve pure essere più spinta quando si ha la necessità di aumentare il carico termico.

La finezza che si ritiene in pratica sufficiente per il sardo e per l'Arsa è quella che lascia un residuo non superiore al 25 % sul vaglio di 4900 maglie per cm^2.

La polverizzazione del carbone ne richiede la preventiva essiccazione perchè, come è evidente, un materiale secco si frantuma più facilmente di un materiale umido, e l'essiccazione si fa, o mediante speciali forni, o utilizzando l'aria calda riscaldata col calore sensibile dei fumi dello stesso impianto, o ancora con la stessa aria di polverizzazione, pure opportunamente riscaldata.

Il funzionamento a polverizzato col carbone Sardo non presenta particolari difficoltà, mentre il carbone dell'Arsa, che ha una grande facilità di combustione, può provocare intempestive accensioni nell'essiccatoio o nel mulino, come pure può determinare

l'ostruzione dell'ugello di insufflazione e quindi lo spegnimento della fiamma per effetto dei depositi carboniosi che si formano sulla bocca dell'ugello stesso.

L'esperienza ha dimostrato che a tutti questi inconvenienti si può facilmente e sicuramente ovviare non riscaldando eccessivamente l'aria che serve al trasporto del polverizzato, oppure impiegando per tale trasporto, anzichè l'aria, una parte dei gas combusti che, contenendo una più limitata quantità di ossigeno, rendono più difficili le preaccensioni.

L'inconveniente della ostruzione dell'ugello, è stato pure eliminato variando il rapporto aria primaria-aria secondaria e aumentando la velocità di efflusso dell'aria primaria, con che si tende ad allontanare la fiamma dell'ugello, oppure raffreddando l'ugello stesso con una corrente d'aria.

Naturalmente il sistema a carbone polverizzato è solo consigliabile nei grandi impianti perchè richiede attrezzature molto complesse e costose.

E qui mi sia lecito aprire una parentesi, per far cenno ad una direttiva di ordine generale che dovrebbe essere più largamente seguita. Poichè i nostri carboni non possono coprire per intero il fabbisogno nazionale, sarebbe consigliabile assegnarli di preferenza alla grande industria che ha le possibilità tecniche ed economiche per apprestare le attrezzature che occorrono al loro impiego.

Quanto si è detto sin qui si riferisce alla combustione dei nostri carboni nei grandi impianti; mentre in quelli di piccola potenzialità il problema va risolto in modo tutto affatto diverso.

Nei piccoli impianti — come caldaie Cornovaglia, caldaie da riscaldamento e simili — manca, o meglio, è ridotta al minimo la camera di combustione.

Inoltre essa non è costituita da materiale refrattario che restituisce per irradiamento molto calore e quindi concorre a mantenere elevata la temperatura dell'ambiente, ma è metallica e lambita esternamente dall'acqua e quindi fredda. In questo caso bisogna ricorrere a quegli speciali tipi di focolari sottoalimentati nei quali il carbone fresco viene spinto con continuità, insieme con l'aria comburente al disotto della massa in combustione e quindi i gas, che ne distillano gradualmente, dovendo attraversare la massa stessa sono costretti a bruciare completamente.

A parte i dettagli costruttivi, i sistemi di sottoalimentazione funzionano con trasportatore a vite senza fine, oppure a spinta e il loro movimento è determinato da energia elettrica, da vapore, da acqua o da olio sotto pressione.

Oggi si costruiscono dei tipi piccolissimi di questi apparecchi completamente automatici, curati perfino nell'estetica tanto da apparire un mobile, e adatti anche per i piccoli impianti domestici di riscaldamento.

Un elevato contenuto in materie volatili combustibili si accompagna sempre ad un più o meno elevato tenore in idrogeno: quest'ultimo è anzi il costituente caratteristico delle materie volatili, di cui esalta la rapidità di distillazione e le conseguenti difficoltà di combustione, quanto più alto è il rapporto: idrogeno-materie volatili combustibili.

A combustione avvenuta, l'idrogeno, ossidato a vapore acqueo, innalza notevolmente il punto di rugiada dei fumi: basta ricordare che ogni unità percentuale (in peso) di idrogeno produce 90 grammi di vapore acqueo che si aggiunge a quello derivante dalla umidità del combustibile.

Poichè i nostri combustibili tipici: il Sulcis e l'Arsa contengono in genere dal 4 al 5 % di idrogeno si ha in pratica una produzione di mezzo chilogrammo di vapor d'acqua ogni chilogrammo di carbone bruciato ed il punto di rugiada teorico risulta pertanto sui 40° C.

Va però tenuto presente che le superfici metalliche colle quali i fumi vengono a contatto negli impianti termici sono ordinariamente ricoperte da depositi di fuliggine o di altre sostanze, depositi che innalzano, per adsorbimento ed igroscopicità, detto punto di rugiada.

Ad evitare pertanto l'attacco delle lamiere per l'azione concomitante del vapore acqueo e dei gas solforosi, solforici o comunque aggressivi, sempre presenti nei fumi, si rendono in pratica necessari particolari accorgimenti, cui si accennerà più innanzi trattando dell'impiego dei combustibili ad elevato tenore in zolfo.

L'AZIONE DEL SOLFO.

Altra caratteristica molto discussa dei nostri carboni è l'elevato contenuto in solfo.

Anzitutto va ricordato che esso si trova in essi in due forme: una inerte costituita da solfati che restano nelle ceneri e l'altra volatile che brucia prevalentemente a SO_2. Il solfo *totale* è contenuto nei nostri carboni nell'ordine dall'8 al 10 % ed è in gran parte volatile.

Si è precedentemente accennato che la presenza nei fumi di gas solforati può dar luogo a corrosioni nelle parti metalliche,

solo se si ha contemporaneamente presenza di vapore acqueo e temperature sufficientemente basse e tali da provocare la condensazione del vapore stesso sulle superfici metalliche lambite dai fumi.

Gli accorgimenti che la pratica ha convalidato come efficienti contro tali possibilità di corrosioni, consistono quindi nell'evitare il contatto diretto dei fumi con lamiere o tubi di rame, o sue leghe; nel curare particolarmente la pulizia delle superfici riscaldate per non innalzare ulteriormente come si è detto, il punto di rugiada dei fumi; nell'evitare in modo assoluto perdite di vapore o di acqua dai giunti, o comunque evitare lo stabilirsi di un habitat umido per le lamiere ferrose; e, principalmente per gli economizzatori, nel mantenere la temperatura dell'acqua di alimentazione non inferiore ai 45° ÷ 50° C. circa.

La realizzazione pratica di quest'ultima fondamentale prescrizione, si ottiene preriscaldando l'acqua (in scambiatori, o per miscelazione diretta) a mezzo di vapore prelevato di solito in uno stadio intermedio di utilizzazione, ovvero di acqua calda ricuperata lungo il ciclo termotecnologico.

Pure allo scopo di mantenere temperature elevate di alimentazione, è conveniente alimentare con continuità, o addirittura far circolare più volte, prima della sua immissione nel vaporizzatore, parte dell'acqua entro il circuito: pompa di alimentazione-economizzatore; in tal modo si attiva da un lato la trasmissione termica nell'economizzatore, e d'altro lato si riduce notevolmente il salto di temperatura dell'acqua fra l'entrata e l'uscita nell'economizzatore stesso.

Le corrosioni nei preriscaldatori d'aria si evitano o disponendo, là dove è possibile, il preriscaldatore a monte dell'economizzatore, ovvero facendo circolare l'aria in corrente equiversa al fumo.

Insomma in pratica non si riscontrano danni attribuibili alla presenza di gas solforosi (o solforici) in tutte le parti delle caldaie che si trovano a temperature sufficientemente elevate; e pertanto è necessario, agendo come dianzi si è indicato, evitare che organi, o parti delle caldaie stesse a contatto con i fumi, scendano a temperature troppo basse.

L'azione delle ceneri sui materiali refrattari.

Consideriamo ora i nostri principali combustibili dal punto di vista dell'azione delle ceneri sul refrattario delle camere di combustione.

Come è noto, le ceneri del Sulcis e dell'Arsa sono nettamente basiche per la presenza essenzialmente, nelle prime di ossido di ferro, e nelle seconde di ossido di calcio.

Queste ceneri non attaccano quindi sensibilmente i refrattari ad alto tenore in allumina, mentre riescono aggressive verso i comuni refrattari, acidi per il loro prevalente contenuto in silice.

La loro aggressività è esaltata inoltre dalla bassa temperatura di fluidificazione loro propria, temperatura che si potrebbe praticamente denominare di incipiente reazione col materiale costituente il refrattario.

Tale temperatura è funzione di numerosi fattori, quale la composizione e lo stato di compattezza del refrattario, l'ambiente ossidante o riducente della camera di combustione, la grossezza e la velocità con le quali le particelle di ceneri vengono proiettate o comunque giungono a contatto col refrattario stesso.

Uno studio teoricamente completo ed esauriente sull'aggressività delle ceneri dei nostri due principali combustibili non è stato ancora effettuato; ci limitiamo pertanto a constatare l'esistenza del fenomeno e ad indicarne i mezzi protettivi praticamente adottabili.

Tali mezzi consistono nel rivestire le camere di combustione, o almeno certe zone di esse, di refrattari ad alto tenore in allumina Al_2O_3 e nella schermatura delle camere stesse con tubi a circolazione d'acqua.

Il refrattario più comunemente usato da noi per questo scopo è la sillimanite che contiene circa il 70 % di allumina ed ha una temperatura di rammollimento superiore ai 1500°. Non sempre però il refrattario, anche di composizione speciale, presenta una sufficiente resistenza all'azione concomitante delle ceneri e della elevata temperatura e in pratica si riscontra che esso si sgretola, si assottiglia pur senza combinarsi con le ceneri e senza fondere.

E pertanto, quando si affida al solo refrattario la protezione della camera di combustione, oltre l'adozione di materiali speciali, occorre mantenere nella camera carichi termici piuttosto bassi e cioè intorno alle 200.000 calorie per m^3 e occorre pure non tenere un regime di combustione con un tenore in CO_2 troppo elevato, e cioè superiore al $12 \div 13$ %, allo scopo di non avere in essa temperature eccessivamente elevate.

Insomma bisogna accettare un piccolo aumento nella perdita per calore sensibile, piuttosto che rischiare di mettere fuori servizio rapidamente la camera di combustione.

Il problema invece è risolto in modo brillante con l'applicazione degli schermi a protezione delle pareti dei focolari. Tali schermi sono costituiti da banchi di tubi d'acqua che, applicati in diversi modi contro le pareti, determinano un fortissimo assorbimento di calore ed impediscono al materiale refrattario retrostante di raggiungere temperature troppo elevate.

Inoltre la schermatura permette di utilizzare molto bene il calore radiante e permette ancora di mantenere nella camera di combustione carichi termici unitari molto più elevati. E poichè essa può applicarsi non solo agli impianti nuovi, ma anche in molti impianti esistenti, raggiunge pure lo scopo importantissimo di aumentare considerevolmente la potenzialità dell'impianto senza ricorrere alla installazione di nuove unità.

La disposizione degli schermi deve essere molto accuratamente studiata perchè si abbia sempre nei tubi un'attivissima circolazione dell'acqua; che deve essere preventivamente ben depurata e preferibilmente distillata.

Oggi si può dire che non si costruiscono impianti di una certa potenzialità nei quali non siano attuate queste direttive.

Quando le caldaie siano sistemate con ampie camere di combustione schermate, con griglie compartimentate, con aria secondaria preriscaldata, i nostri carboni — mi riferisco sempre ai due più importanti — non solo non danno luogo ad inconvenienti, ma permettono di ottenere dei rendimenti dell'ordine dell'85 % e quindi praticamente non inferiori a quelli che si raggiungono con i combustibili esteri.

Quanto si è detto fin qui ha riferimento alla combustione su griglia dei carboni sardi ed istriani e specialmente al loro impiego nelle caldaie a vapore.

Vi sono però molte industrie che ne possono assorbire quantità rilevanti.

L'industria del cemento — specie nei forni rotativi — ne può impiegare, senza importanti modifiche negli impianti, una percentuale dal 35 al 50 %, specialmente se si fabbrica cemento artificiale in cui è più facile correggere l'impasto crudo in relazione alla qualità ed alla quantità delle ceneri dei carboni impiegati.

Altrettanto dicasi per i forni da cemento detti automatici e per i forni da calce.

Le fabbriche di ceramiche, nei forni a muffola in cui i fumi non vengono a contatto col materiale in elaborazione, ne possono pure impiegare quantità rilevanti.

Quanto alle fornaci da laterizi, la cosa è un po' più complessa. Alcune fornaci cuociono il laterizio con solo carbone nazionale senza nessuna difficoltà, altre invece riscontrano inconvenienti, non nella combustione che anzi in questa industria i nostri combustibili sono indicatissimi, ma nella qualità del prodotto ottenuto. Con talune qualità di terra sembra che il solfo dei nostri carboni macchi superficialmente il laterizio rendendolo inadatto per paramenti. Comunque tutte le fornaci ne possono senz'altro impiegare quantità rilevanti.

Poichè siamo in Piemonte faremo pure un cenno anche della antracite di La Thuile.

Questa, come è noto, ha caratteristiche del tutto opposte ai carboni citati finora. Si tratta di un combustibile molto povero di materie volatili (3,5 %) di scarsa reattività, contenente circa il 30 % di ceneri e avente un potere calorifico pratico inferiore (con umidità del 6 ÷ 7 %) di circa 4800 ÷ 4900 calorie-kg.

Essa però contiene solfo in quantità trascurabile (0,5 %) e le ceneri sono prevalentemente silicee e non hanno alcuna influenza nociva sui refrattari.

Questo carbone, per bruciare, ha bisogno di trovarsi in un ambiente a temperatura sufficientemente elevata che ne esalti la scarsa reattività, inoltre deve essere frequentemente rimosso per liberare i pezzi dallo strato di cenere di cui si ricoprono durante la combustione; cenere che tende ad arrestare la combustione stessa, lasciando nell'interno del pezzo un nucleo di carbone incombusto. Questo fatto, unito all'elevato tenore in ceneri è quello che determina la perdita più elevata che si riscontra nell'impiego di esso, e cioè la perdita per incombusti solidi nelle ceneri e scorie; perdita che assume valori dell'ordine del 15 ÷ 20 %.

Inoltre durante la combustione si liberano delle particelle minute, leggerissime, dall'aspetto di scagliette lucenti che vengono trasportate coi fumi al camino. In certi casi esse costituiscono un serio inconveniente perchè, cadendo, imbrattano una vasta zona circostante all'impianto.

Il caricamento diretto a mano viene usato, pur con qualche difficoltà, negli impianti centrali di riscaldamento: dato però l'elevato tenore in inerti e il basso potere calorifico di questa antracite, è consigliabile impiegarla in miscela con coke. Usandola sola, è necessario che la caldaia abbia una potenzialità maggiore del 20 ÷ 25 % di quella che sarebbe necessaria con combustibile ordinario.

La combustione su griglia è molto migliore se si adottano speciali griglie meccaniche: (Martin, Vesuvio, Lomsakow) nelle quali

il carbone è mantenuto costantemente in movimento allo scopo di svestire i pezzi dall'involucro di cenere cui abbiamo più sopra accennato.

È pure necessario che, dove il pulviscolo può recare danni o disturbi, gli impianti siano muniti di un captatore di fuliggine.

L'antracite di La Thuile è stata impiegata anche polverizzata ed ha dato risultati abbastanza soddisfacenti, mescolandola in proporzione non superiore al 50 % con carbone da gas, pure polverizzato; oppure mantenendo elevata la temperatura della camera di combustione (almeno nei periodi in cui questa tende ad abbassarsi) con altri tipi di combustibile. Presso la « Cogne » la si impiega con buoni risultati polverizzata, insieme con gas d'alto forno.

L'utilizzazione vera, razionale, di questo combustibile, non è però, a mio parere, la combustione diretta su griglia.

Migliori risultati si sono ottenuti con la gassificazione, adottando gassogeni speciali con ampia griglia mobile e di facile descoriazione (la « Cogne » usa i Keperly).

Si ottiene con questa antracite un gas molto puro, del potere calorifico sulle 1000 calorie.

Altra utilizzazione da prendersi in considerazione è la cottura del cemento, sia in alcuni tipi di forni rotativi, che in quelli a tino soffiati (detti automatici).

Per questa non occorrono speciali attrezzature, ma solo si deve cercare caso per caso, la migliore condizione di regolazione del forno.

Il carbone di La Thuile non va però impiegato solo, ma in mescolanza, — secondo il tipo del forno — con minuto di antracite estera, o di coke; o con carbone da gas. La miscela viene fatta nella proporzione fino al $10 \div 40$ % della nostra antracite.

Non è stato praticamente possibile finora adottare percentuali superiori, non perchè si incontrino insormontabili difficoltà di combustione, ma perchè le ceneri che, in quantità non più trascurabile si mescolano al prodotto, ne modificherebbero alquanto le caratteristiche tecnologiche.

Un'altra utilizzazione, e forse la migliore, è l'impiego negli alti forni elettrici.

In questi forni il minerale di ferro ha bisogno — come è noto — di carbonio per la sua riduzione: a questo uso si presta egregiamente il carbone di La Thuile, che in questo caso non è più chiamato a produrre calore, ma a fornire carbonio per una reazione chimica diversa dalla comune combustione.

Per scopo analogo la si è pure impiegata nel ricupero del ferro dalle ceneri di piriti provenienti dalla fabbricazione dell'acido solforico.

Si tratta insomma di un carbone che, pur presentando delle incontestabili difficoltà di impiego, può trovare tuttavia diverse forme di utilizzazione, portando esso pure un contributo alla risoluzione del tanto assillante problema dei combustibili.

In conclusione, in fatto di impiego di carboni nazionali molto cammino si è percorso in questi ultimi anni, molte diffidenze sono cadute e, dove gli impianti sono stati eseguiti e modificati razionalmente, il loro impiego ha luogo su larga scala e senza inconvenienti.

CESARE CODEGONE

PROFESSORE ADDETTO AL LABORATORIO DI FISICA TECNICA
DEL R. POLITECNICO DI TORINO

L'irraggiamento termico nelle caldaie.

RIASSUNTO. — *Si pone il problema dell'irraggiamento termico in una cavità occupata da un mezzo assorbente e indicata la soluzione in alcuni casi elementari si passa, coll'aiuto di ipotesi semplificative ed estendendo metodi noti di calcolo a casi più generali, ad applicarne i risultati alle caldaie.*

L'irraggiamento termico dei gas e delle fiamme ha formato da tempo oggetto di studi (1), ma l'applicazione dei risultati di questi studi a casi interessanti la tecnica è abbastanza recente (2).

Quest'applicazione urta contro difficoltà provenienti in parte da incertezze nella conoscenza delle proprietà dei mezzi irraggianti e dalla sovrapposizione di vari fenomeni ed in parte da complicazioni analitiche.

Tuttavia le conclusioni alle quali essa permette attualmente di giungere, sia pure a prezzo di importanti semplificazioni, inducono ad attribuire in molti casi un'importanza considerevole agli effetti prima trascurati di questo irraggiamento, effetti che nei focolai muniti di graticola si aggiungono a quelli prodotti dallo strato ardente di combustibile.

Queste constatazioni hanno influito sugli stessi criteri costruttivi delle caldaie nelle quali si fa ora un maggiore assegnamento sulla trasmissione per irradiazione.

I focolai sono stati ampliati e le loro pareti sono state rivestite di tubi d'acqua. Si è così ottenuto di poter bruciare in buone

---

(1) F. PASCHEN, « Ann. d. Phys. » *51* (1894), p. 1; J. KOENIGSBERGER, *ibid.*, *12* (1903), p. 342; A. BECKER, *ibid.*, *28* (1909), p. 1017.

(2) A. SCHACK, « Zeit. f. Techn. Phys. » *5* (1924), p. 267; *6* (1925), p. 530; H. C. HOTTEL, « Ind. Eng. Chem. » *19* (1927), p. 888.

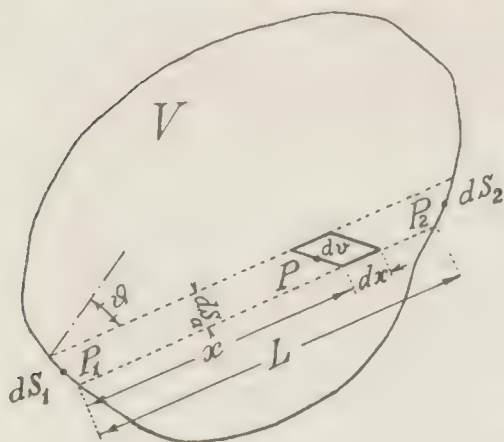
condizioni i combustibili a lunga fiamma, come i carboni sardi e istriani [1] e di elevare notevolmente la produzione specifica di vapore della caldaia senza danneggiare le pareti della camera di combustione [2].

Il chiarire i fondamenti dei calcoli relativi a questi fenomeni di irraggiamento può dunque costituire un contributo, sia pure modesto, al problema della migliore utilizzazione dei combustibili nazionali.

Nei paragrafi seguenti, dopo aver posto la questione da un punto di vista generale sono successivamente considerati come casi particolari suscettibili di pratica soluzione i problemi relativi all'irraggiamento proprio dei gas non in reazione e delle fiamme, ed agli effetti che la loro azione diretta o indiretta, eventualmente combinata con quella dello strato di combustibile, produce sugli scambi termici che avvengono nelle caldaie.

Fig. 1.

***

In una massa eterogenea V (v. fig. 1), irraggiante per effetto della sua temperatura entro l'intervallo $d\lambda$ di lunghezza d'onda, un elemento generico dS di superficie emette nella direzione P_1P_2, nel tempo $d\tau$ e dentro l'angolo solido $d\omega$ l'energia:

$$(1) \qquad b_{\lambda,T} \cdot d\lambda \cdot dS_a \cdot d\omega \cdot d\tau$$

dove $b_{\lambda,T}$ è una grandezza funzione anche della posizione dell'elemento dS, dS_a è l'area apparente dello ste so dS nella direzione scelta e T è il valore della temperatura assoluta in P.

Di questa energia lungo il tratto dx rimane assorbita la quota $a_{\lambda,T} \cdot dx$, essendo $a_{\lambda,T}$ il coefficiente spettrale di assorbimento del mezzo nel punto P.

---

(1) Lo hanno dimostrato prove recenti eseguite dall'Associazione Nazionale per il Controllo della Combustione (cfr. « Il Calore », 1938, p. 5).

(2) R. San Nicolò, « L'Elettrotecnica », 1939, p. 170.

D'altra parte l'energia emessa dall'elemento di volume dv può essere espressa da:

$$\varepsilon_{\lambda,T}\, d\lambda\, dv\, d\omega\, d\tau \tag{2}$$

dove anche $\varepsilon_{\lambda,T}$ varia in generale secondo la posizione di dS e per il principio di Kirchhoff è legata alla $b^{(n)}_{\lambda,T}$ del corpo nero [1] dalla relazione:

$$\varepsilon_{\lambda,T} = a_{\lambda,T}\, b^{(n)}_{\lambda,T}\,. \tag{3}$$

In questa eguaglianza $b^{(n)}_{\lambda,T}$ si ricava dalla nota equazione di Plank [2]:

$$b^{(n)}_{\lambda,T} = c_1/[\lambda^5(e^{c_2/\lambda T} - 1)] \tag{4}$$

e le costanti c_1 e c_2, usando le unità della termotecnica (λ in m, $b^{(n)}_{\lambda,T}$ in kcal/mc, h), valgono:

$$c_1 = 1{,}01 \cdot 10^{-16}\, kcal \cdot mq/h$$

$$c_2 = 1{,}43 \cdot 10^{-2}\, m \cdot {}^0K\,.$$

Trascurando la rifrazione e omettendo per semplicità gli indici λ e T si ha ancora:

$$\frac{\partial b}{\partial x} = -\, ab + \varepsilon = a(b^{(n)} - b)\,. \tag{5}$$

La temperatura dell'elemento dv può variare col tempo per effetto degli scambi di energia coll'ambiente; scambi che avvengono a distanza per effetto dell'irraggiamento e anche direttamente cogli elementi adiacenti attraverso la superficie che limita l'elemento considerato. Se per questi ultimi scambi si ammette valido il postulato di Fourier si può scrivere:

$$c\varrho\, \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k\, \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty}\int_{2\pi} ab\, d\omega\, d\lambda - 4\pi \int_0^{\infty} a \cdot b^{(n)} d\lambda \tag{6}$$

---

(1) Basta infatti pensare per un momento che l'elemento dS sia nero, cioè perfettamente assorbente, e scrivere che in tal caso, supposto trascurabile il fattore di riflessione del mezzo, per il principio di Carnot gli scambi tra dS e dv si compensano.

(2) M. Planck, *Theorie der Wärmestrahlung*, Leipzig, 1902.

avendo indicato con c il calore specifico del mezzo (relativo alla trasformazione che esso subisce) con ϱ la sua densità e con k la sua conducibilità termica.

L'integrale rispetto a ω che compare nel secondo addendo va esteso a tutta l'emisfera vista da dS.

Se l'elemento dv è sede di una produzione propria di calore, per esempio a motivo di reazioni chimiche, occorre aggiungere nella (5) e nella (6) un termine che ne tenga conto.

W. Pogorzelski (1) ha fornito la soluzione analitica della (6) nel caso particolare di uno strato piano illimitato.

Il problema si semplifica se è raggiunto il regime stazionario di temperatura e se la massa raggiante è omogenea e isoterma.

In tal caso la potenza irraggiata dall'intero volume V sull'elemento dS_1 del contorno si ottiene sommando tutti i contributi degli elementi come dv e ricordando che per ciascuno di essi l'energia emessa si riduce durante il tratto x in ragione del fattore e^{-ax}.

Si ha quindi:

$$dq = dS_1 \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \int_{2\pi} \cos \vartheta d\omega (1 - e^{-aL}) b^{(n)} d\lambda \ldots kcal/h \tag{7}$$

in cui ϑ è l'angolo che la direzione considerata forma colla normale a dS_1.

L'integrazione rispetto a ω riguarda questioni puramente geometriche, mentre è in quella rispetto a λ che occorre tener conto della natura e dello stato fisico del mezzo, il che non è facile perchè in generale gli spettri di assorbimento (e quindi a) variano in modo complicato colla temperatura e colla pressione. Per spessori molto piccoli si può porre:

$$1 - e^{-aL} \cong aL .$$

Per spessori grandissimi in tutte le direzioni (o anche per valori dei prodotti aL tutti grandissimi) dq/dS_1 tende ad assumere il valore massimo:

$$\int_0^\infty \pi b^{(n)} d\lambda \tag{8}$$

(1) « Ann. Acad. Sciences Techn. ». Varsovie, *3*, 1936, p. 17.

cioè il mezzo, limitatamente alle sue righe o bande di assorbimento, irraggerebbe come il corpo nero; per un mezzo a spettro continuo dq/dS_1 varrebbe quindi σT^4 essendo notoriamente:

$$\sigma = 6{,}494 \frac{\pi c_1}{c_2^4} = 4{,}93 \cdot 10^{-8} \qquad kcal/mq, h, {}^0K^4$$

la costante di Stefan-Boltzmann.

In generale si scrive:

$$\frac{dq}{dS_1} = A\sigma T^4 \tag{9}$$

indicando con A un fattore numerico compreso tra 0 e 1, funzione della temperatura e della configurazione geometrica del sistema [1].

Conviene pure di scrivere la (8) nella forma:

$$\left(\frac{dq}{dS_1}\right)_\infty = A_\infty \sigma T^4 . \tag{10}$$

Indicando con A^* il rapporto A/A_∞ si ha infine:

$$\frac{dq}{dS_1} = A^* \cdot A_\infty \sigma T^4 . \tag{9'}$$

***

Per arrivare a risultati concreti nel calcolo indicato dalla (7) sono state seguite due strade diverse.

Studiando sperimentalmente l'irraggiamento termico di una determinata miscela gassosa contenuta in una sfera metallica, W. Nusselt [2] ha potuto sostituire alle bande di emissione reali corrispondenti al caso particolare studiato una banda fittizia equivalente, di ampiezza $\Delta\lambda$ variabile colla temperatura, e per la quale il coefficiente a assumeva un valore costante. Ponendo:

$$B_{\Delta\lambda}^{(n)} = \int_{\Delta\lambda} b^{(n)} d\lambda$$

---

[1] Si scrive spesso $C\,(T/100)^4$ in luogo di σT^4 essendo C evidentemente uguale a 4,93.

[2] « Forsch. Arb. », Heft 264, 1923. Questo lavoro riguarda specialmente i motori a combustione interna.

si ha allora:

$$\frac{dq}{dS_1} = B_{\Delta\lambda}^{(n)} \int_{2\pi} (1 - e^{-aL}) \cos \vartheta d\omega \tag{11}$$

e la grandezza da integrare non dipende più dalla temperatura.

Se l'elemento in esame è situato al centro del cerchio di base di una emisfera di raggio R (v. fig. 2) si ha semplicemente:

$$A^* = 1 - e^{-aR}\,. \tag{12}$$

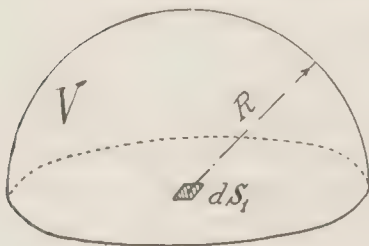



Fig. 2.

Si conoscono con esattezza i valori di A^* in funzione del parametro numerico al (l è una dimensione lineare caratteristica del volume V) in vari altri casi [sfera ([1]); cilindro a sezione circolare, illimitato ([2]) o di altezza finita ([3]); strato piano illimitato ([4])].

A. Schack ([5]) ha invece seguito un altro procedimento: utilizzando i non molti dati disponibili e grazie sia ad una ingegnosa trasposizione delle componenti delle n più importanti bande reali di emissione $\delta\lambda$, sia all'assunzione per ciascuna di esse del valore medio di $b'^{(n)}$ deducibile dalla (4), questo Autore è riuscito nel caso di fig. 2 a integrare direttamente la (7) rispetto a λ, cal-

---

([1]) « Forsch. Arb. », Heft 264, 1923.

([2]) La soluzione analitica è stata data recentemente dall'Istituto per le Applicazioni del Calcolo, nel caso formalmente analogo a questo, ma più generale, dell'illuminamento prodotto da un tubo elettroluminescente. (Per la impostazione del problema si veda la Com. N. 110 alla 43ª Riunione A. E. I., 1938).

Per una soluzione grafica cfr. W. Nusselt, « Z. VDI », *70* (1926), p. 763.

([3]) E. Schmidt, « Z. VDI », 77 (1933), p. 1163. L'elemento dS_1 è supposto al centro del cerchio di base. La soluzione di questo problema è estesa in via di approssimazione a casi meno semplici (cubi, parallelepipedi) mediante la suddivisione del volume considerato in tanti cunei.

([4]) Soluzioni di Königsberger (*loc. cit.*, p. 345) e di M. Jakob, *Der Chemie Ingenieur*, Leipzig, 1933, I, p. 301.

([5]) V. nota (2) della prima pagina di questo lavoro e il trattato dello stesso Schack: *Der Industrielle Wärmeübergang*, Düsseldorf, 1929, p. 206. Il calcolo di cui si parla è stato poi ancora ritoccato da altri, ma con risultati praticamente poco diversi. Per il vapor d'acqua E. Schmidt ha eseguito delle determinazioni dirette (« Forschung », *3*, 1932, p. 57).

colando per il CO_2 e l'H_2O a pressione ordinaria ed a diverse temperature l'espressione:

$$(13) \qquad \sum_1^n \int_{\delta\lambda} (1 - e^{-aR}) \pi b^{(n)} d\lambda \,.$$

Sulle figg. 3 e 4 sono stati portati i valori di A_∞ e di A^* che risultano da questi calcoli; i primi valori sono in funzione della temperatura, i secondi in funzione di R (in metri).

Sono stati aggiunti i dati relativi all'anidride solforosa, ricavandoli da calcoli eseguiti con lo stesso metodo da Hottel e Guerrieri [1].

Si rileva che in questi casi l'emissione cresce colla temperatura secondo una legge non semplice e meno rapida di quella relativa al corpo nero. Nell'intervallo tra 1000 e 1500° C il fattore A^* varia poco con T (le curve dell'H_2O e dell'SO_2 non solo sono vicine, ma si intrecciano) e l'emissione cresce all'incirca in ragione della terza potenza della temperatura assoluta; questo fatto permette di semplificare alcuni calcoli. A temperature più basse e per non complicare la figura sono state tracciate soltanto le linee corrispondenti a 500° C, si hanno però variazioni molto più sentite di A^*.

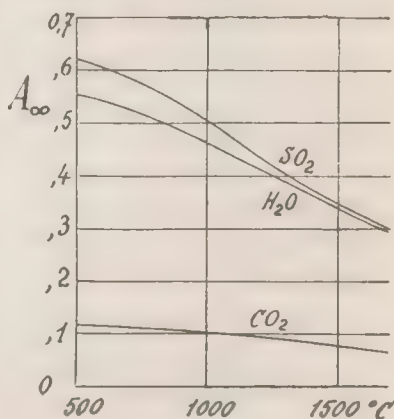



Fig. 3.

I fenomeni di dissociazione cominciano praticamente ad avere importanza soltanto al disopra di 1500° *C*.

Per casi geometricamente meno semplici del precedente (nel quale ovviamente rientrano i settori sferici e loro parti) H. C. Hottel [2] ha proposto di sostituire al raggio costante che compare nella (13) un raggio medio R_m tale che sia:

$$(14) \qquad \frac{dq}{dS_1} \cong \left(\frac{dq}{dS_1}\right)_{R_m}.$$

---

[1] Cfr. W. H. Mc. Adams, *Heat transmission*. New York, 1933, p. 71.

[2] «Ind. Eng. Chem.», *19* (1927), p. 888.

Si possono così utilizzare ancora le figure 3 e 4. I valori consigliati di R_m per le posizioni di dS_1 rappresentate nella fig. 5,

Fig. 4.

valori ricavati in gran parte mediante laboriose integrazioni grafiche, sono:

a) sfera, diametro d	$R_m = \frac{2}{3} d$
b) cubo, lato l	$\frac{2}{3} l$
c) parallelepipedo rettangolo, lati $(1:2:6)l$.	$1{,}3l$
d) strato piano illimitato a faccie parallele, altezza h	$1{,}8h$
e) cilindro illimitato a sezione circolare, diametro d	d
f) gas tra tubi (banco illimitato) $d = u$	$2{,}8u$
f) gas tra tubi (banco illimitato) $d = 0{,}5u$	$3{,}3u$

E. Schmidt ha inoltre trovato che il caso *d*) equivale al caso del cilindro illimitato di raggio h rappresentato nella fig. 5_9.

L'errore che si può commettere adottando questi R_m invece di eseguire esattamente la integrazione (7) varia colle dimensioni e tende a zero al crescere di queste; nei casi ora indicati esso non supera generalmente il 10 %.

Nelle condizioni più semplici il valore di R_m coincide od è prossimo a quello del *libero percorso medio* (¹) ricavato in base a considerazioni statistiche e utilizzato negli studi relativi all'acustica delle sale (²).

Metodi grafici fondati sulla suddivisione del volume dato in piccoli settori sferici (o loro parti) con centro in dS_1 e sulla valutazione pure grafica del prodotto $d\omega \cdot \cos\vartheta$ potrebbero essere di qualche utilità.

L'energia irraggiata su una superficie finita S si ricava integrando rispetto alla stessa S l'espressione che compare a secondo membro della (7). Nei casi *a*) *d*) *e*), nei quali per evidenti ragioni di simmetria la distribuzione superficiale dell'energia stessa è uniforme, tale operazione è immediata.

Ad esempio nel caso di una sfera di 1 m. di diametro occupata da CO_2 a 1000° C l'energia irraggiata direttamente su tutta la superficie che la limita vale:

$$0{,}10 \cdot 0{,}96 \cdot 4{,}93 \cdot 12{,}73^4 \cdot \pi = \sim 39000 \text{ kcal/h} .$$

***

Il metodo d'integrazione diretta impiegato da A. Schack per i gas e vapori allo stato puro può essere esteso alle miscele di aeriformi modificando convenientemente l'espressione che compare nella relazione (7).

(¹) Pari a $4\, V/S$, se V è il volume e S la superficie che lo limita.

(²) Cfr. G. Jaeger, « Sitz. Ber. Akad. Wiss. ». Wien, *120* (1911), p. 613; B. Finzi Contini, « Rend. Ist. Lomb. », *69* (1936), p. 673.

Si immagini per un momento (e l'operazione non modifica gli effetti dell'irraggiamento diretto su dS_1) che gli n componenti puri

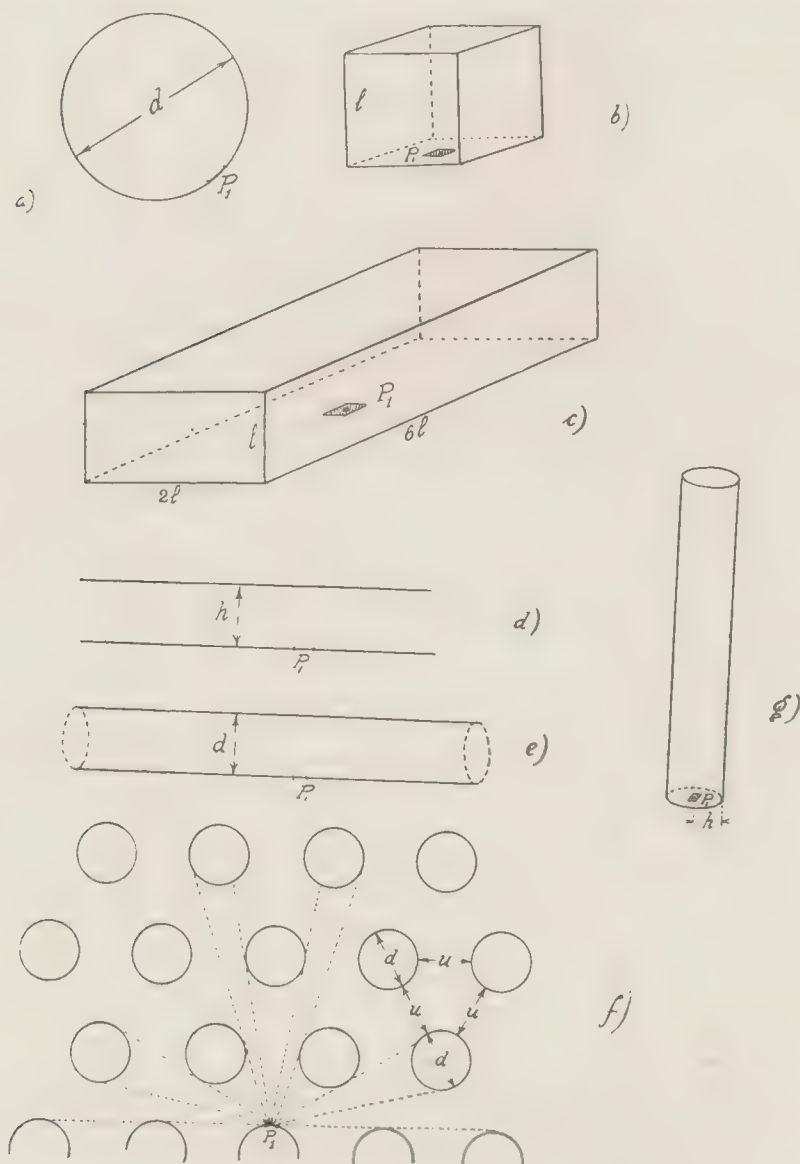



Fig. 5.

che occupano il cilindretto P_1P_2 rappresentato nella fig. 1 siano separati in modo da occupare alla stessa temperatura ed alla

pressione totale p_t della miscela tratti successivi come x_1, x_2, ..., x_n. Dovrà risultare:

$$x_1 + x_2 + \ldots + x_n = L \tag{15}$$

e indicando con p_1, p_2, ..., p_n le pressioni parziali dei componenti si avrà pure:

$$x_1 = \frac{p_1}{p_t} L \quad ; \quad x_2 = \frac{p_2}{p_t} L \ldots \quad ; \quad x_n = \frac{p_n}{p_t} L . \tag{16}$$

Se per ognuno dei tratti come x_1, x_2, ..., x_n si ripete il ragionamento fatto per scrivere la (7) e si sommano i contributi dei vari tratti tenendo conto dei successivi assorbimenti dovuti alle eventuali bande comuni di emissione, si trova che nel caso della miscela basta porre in luogo di $(1 - e^{-aL})$ l'espressione:

$$1 - e^{-a_1x_1 - a_2x_2 - \ldots - a_nx_n} \tag{17}$$

dove i coefficienti a_1, a_2, ..., a_n sono relativi ai vari componenti [1].

L'ossigeno e l'azoto sono praticamente trasparenti, quindi i termini corrispondenti nella (17) scompaiono.

Nel caso particolare e importante di una miscela contenente oltre a gas non assorbenti dell'anidride carbonica e del vapore d'acqua, posto $p_t = 1$ at. e misurando le p in at. la (17) si può scrivere:

$$(1 - e^{-a_1p_1L}) + (1 - e^{-a_2p_2L}) - (1 - e^{-a_1p_1L})(1 - e^{-a_2p_2L}). \tag{18}$$

L'integrale generale che compare nella (7) è dunque uguale alla somma di due integrali già studiati (da valutare in relazione ai parametri $a\,p\,L$ invece che agli aL), ai quali si deve sottrarre un termine correttivo che ha valore soltanto in corrispondenza delle bande comuni di assorbimento (di importanza pratica è quella nell'infrarosso intorno a $2{,}7\mu$).

Questa correzione, trascurabile a bassa temperatura come pure per piccole dimensioni e per piccole concentrazioni di gas attivi, è rappresentata nella fig. 6 sotto forma di percentuale di riduzione della somma ora indicata (R è in feet).

---

[1] Si arriva più rapidamente al risultato se si suppone l'elemento dS_1 nero ed alla stessa temperatura del mezzo e si scrive che in tal caso gli scambi di energia tra lo stesso elemento ed il solito cilindretto si compensano. Si trascurano al solito i fattori di riflessione dei componenti che sono in realtà ordinariamente molto piccoli.

Se nella miscela, come può avvenire nelle fiamme, sono presenti in sospensione delle particelle solide, è necessario introdurre nella (7) una ulteriore modificazione.

La proiezione delle particelle in sospensione su una sezione retta del cilindretto P_1P_2 ne lascerà libera in generale soltanto una frazione che si dirà φ.

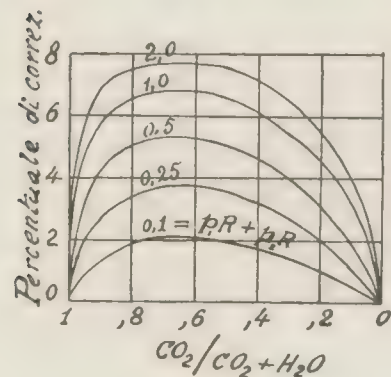
Se si indica con $\varkappa$ la concentrazione delle particelle (numero di esse per unità di volume) e con s la sezione media dei granuli, il calcolo delle probabilità mostra (¹) che per granuli molto piccoli

$$(19) \qquad \varphi = e^{-\varkappa L s}\,.$$

Lo spessore probabile dei granuli di volume medio v che un fascetto di energia nella direzione P_1P_2 incontra vale quindi:

$$(20) \qquad s' = \frac{\varkappa L v}{1 - \varphi}$$

Fig. 6.

pari a 2/3 del diametro medio delle particelle per valori di φ prossimi a 1, ma anche notevolmente maggiore di questo valore per φ prossimo a zero.

Nel solito cilindretto la frazione φ della sezione dS_a rimane immutata rispetto al caso precedente; l'irraggiamento della frazione $(1 - \varphi)$ risulta invece modificato in ragione del fattore $e^{-a's'}$.

Si ha dunque finalmente:

$$(21) \qquad \frac{dq}{dS_1} = \iint d\omega \cos\vartheta \{1 - e^{-apL} \cdot [\varphi + (1 - \varphi) e^{-a's'}]\} b^{(n)} d\lambda$$

ed è questa l'espressione più generale per i casi in esame.

Nella fiamma Hefner le particelle di carbonio incandescenti che le conferiscono la caratteristica luminosità hanno un diametro medio dell'ordine di mezzo μ ed una concentrazione intorno a 10^{14} per mc. (²).

(¹) H. C. Hottel, *A. S. M. E. Trans.* 1927-28, FSP, 50, 3, p. 18. Per valori piccoli dell'esponente questo vale prossimamente $(\varphi - 1)$.

(²) Si vedano le note già citate di Becker e di Schacht, e G. Ribaud, *Températures des flammes*, Paris, 1930. Sull'irraggiamento termico delle fiamme cfr. ad es. Prof. U. Bordoni, *Fisica Tecnica*, Bologna, 1936, p. 44; B. Lewis e G. v. Elbe, *Combustion, flames and explosions of gases*, Cambridge, 1938, p. 336; Y. Laure e H. Gaudry, «Chaleur et Industrie», N. 1 (La Journée de la flamme), 1938, p. 44; J. Werneburg, *Forschung*, 1939, p. 61.

Inoltre nell'infrarosso:

$$a' = \frac{0,57 \cdot 10^6}{\lambda^{0,9}} = \frac{k'}{\lambda^{0,9}} \dots m^{-1} \tag{22}$$

essendo la temperatura intorno a 1700° K.

Il contributo $A_c \sigma T^4$ che queste particelle danno all'irraggiamento diretto su un elemento della superficie della fiamma, se esse si suppongono ripartite su una emisfera centrata nell'elemento, vale:

$$(1 - \varphi) A'_c \sigma T^4 = (1 - \varphi) \int_{\lambda = 0}^{\lambda = \infty} (1 - e^{-a's'}) \pi b^{(n)} d\lambda \, . \tag{23}$$

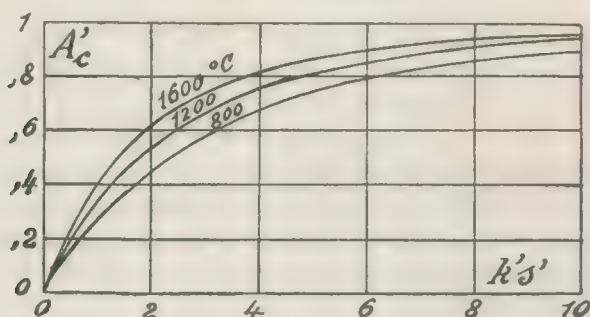



Fig. 7.

La fig. 7 rappresenta come varia il fattore A'_c in funzione della temperatura e del parametro numerico $k's'$. Com'è ovvio:

$$(A'_c)_\infty = 1 \quad ; \quad \varphi_\infty = 0 \, . \tag{24}$$

Per una fiamma che avesse le caratteristiche della Hefner, ma fosse di maggiori dimensioni, per la quale ad esempio si potesse ritenere $R_m = 0,10$ m, si avrebbe:

$$\varphi = 0,86$$

$$A'_c = 0,69$$

$$\left(\frac{dq}{dS_1}\right)_c = 0,14 \cdot 0,69 \cdot 4,93 \left(\frac{1700}{100}\right)^4 = \sim 40000 \, kcal/mq \, .$$

Il contributo delle particelle ammonterebbe quindi al 10 % circa dell'irraggiamento del corpo nero alla stessa temperatura.

Nei focolai alimentati con polvere di carbone le dimensioni delle particelle variano entro larghi limiti secondo la natura del

combustibile ed i processi tecnologici di polverizzazione, ma sono sempre superiori a quelle dei granuli presenti nelle fiamme Hefner e in genere nelle fiamme intensamente luminose alimentate da idrocarburi e brucianti con difetto d'aria.

Le dimensioni prevalenti delle particelle di polvere di carbone sono spesso, come mostrano le analisi granulometriche [1], intorno a $2 \div 10\mu$ e per spessori rilevanti di fiamma si raggiungono facilmente valori di s' tali da far ammettere senza grave errore che lo strato risultante sia opaco nei riguardi dell'irraggiamento ($A'_c = 1$).

Indicando con A_g il fattore relativo agli aeriformi si ha allora semplicemente:

$$A_c = 1 - \varphi \tag{25}$$

$$A = 1 - \varphi(1 - A_g)\,. \tag{26}$$

La relazione (26) è da ritenere più rigorosa di quella indicata per questo caso da Hottel [2] in base a ipotesi di grossolana approssimazione.

Per il calcolo di φ il problema può essere ulteriormente approfondito nel seguente modo.

Se si ammette, con W. J. Wohlenberg e D. Morrow [3] di poter applicare all'aeriforme che occupa il focolaio le leggi dei gas ideali si ha:

$$c = \frac{P}{CT\gamma_0 v_0 \cdot G} \tag{27}$$

dove P è la pressione assoluta espressa in kg/mq, C è la costante del gas, T è la temperatura assoluta in $^\circ K$, γ_0, v_0, sono rispettivamente il peso specifico (in Kg/mc) ed il volume iniziale medio dei granuli (in mc.), G il rapporto del peso del gas al peso del combustibile.

I granuli distillano rapidamente poi bruciano. Se $\bar{v}$ è la percentuale dei prodotti volatili, f quella delle ceneri, γ_1 e γ_f i pesi

---

[1] W. Nusselt, *Z. VDI, 68* (1924), p. 124. Tali dimensioni sono dunque molto minori dei lati delle maglie dei setacci più fini usati in questi casi (4900 maglie per cmq. corrispondenti a circa 80 μ di luce netta).

[2] Loc. cit., *A. S. M. E. Trans.*, p. 19.

[3] *Trans. A. S. M. E., 47* (1925), p. 164.

specifici del combustibile dopo distillazione e delle ceneri, la sezione media s dei granuli da introdurre nei calcoli precedenti si può porre uguale a:

$$\frac{1}{3}(K_1 + K_f + \sqrt{K_1 K_f})s_0 \tag{28}$$

dove s_0 è la sezione iniziale ed i fattori

$$K_1 = \left[(1-\bar{r})\frac{\gamma_0}{\gamma_1}\right]^{\frac{2}{3}} \quad ; \quad K_f = \left(f\,\frac{\gamma_0}{\gamma_1}\right)^{\frac{2}{3}}$$

tengono conto rispettivamente della distillazione iniziale e della successiva combustione, supposta completa, avendo ammesso che nell'intervallo il diametro dei granuli decrescesse linearmente col tempo. Gli autori citati trascurano K_f.

L'approssimazione che si raggiunge con questo procedimento è da ritenere soddisfacente per la pratica [1].

Per le fiamme alimentate con aria in eccesso (fiamme per sè scarsamente luminose se non sono presenti vapori metallici) l'esperienza ha mostrato [2] che l'irraggiamento nei casi che qui interessano è dovuto sostanzialmente alla sola presenza dell'anidride carbonica e del vapore d'acqua che in esse si possono formare. Vale allora la stessa trattazione che è in genere sufficiente per i gas combusti [3].

* * *

Lo scambio diretto di energia per irradiazione tra l'elemento dS_1 alla temperatura t_1 (v. fig. 1) ed il volume V alla temperatura media T_v, è dato dalla differenza tra l'energia emessa da V ed assorbita da dS_1 e l'energia emessa da dS_1 ed assorbita da V (pari

---

(1) Metodi di calcolo ancor meno rigorosi di quello qui indicato hanno dato in vari casi risultati discretamente attendibili. Si vedano a questo proposito le rassegne di Wohlenberg e collaboratori sulle *Trans. A. S. M. E.*, 1935, RP - 57-3-4, e: A. Bodmer e L. Nisolle, *Le chauffage au charbon pulvérisé*, Parigi, 1933, p. 130.

(2) R. A. Sherman, *Trans. A. S. M. E.*, 1934, IS - 56-1, p. 177; H. C. Hottel e V. C. Smith, *ibid.*, 1935, PRO - 57-4, p. 463.

(3) Una utile formula adatta a questo caso è stata fornita dal Prof. A. Sellerio sul *Manuale dell'Ingegnere* del Colombo, 1939, p. 138.

quest'ultima all'energia che sarebbe emessa da V ed assorbita da dS_1 se V fosse alla temperatura T_1).

Se dS_1 è perfettamente assorbente il suddetto scambio nell'unità di tempo e in condizioni di regime stazionario vale dunque:

$$dQ = \sigma(A_v T_v^4 - A_1 T_1^4) dS_1 \qquad \text{kcal/h} . \tag{29}$$

Se invece dS_1 non assorbe che la frazione $(1 - r_1)$ dell'energia raggiante che lo colpisce e questo fattore non dipende nè da λ nè dall'angolo di incidenza, basterà moltiplicare per $(1 - r_1)$ il secondo membro della (29).

L'ipotesi ora fatta equivale ad ammettere che dS_1 sia un corpo uniformemente diffondente; r_1 è il fattore costante di riflessione diffusa che gli compete [1].

Lo scambio relativo ad una superficie finita S_1 nelle stesse condizioni di dS_1 si ottiene integrando la (29) per tutta la S_1 e l'adozione già indicata del raggio medio semplifica molto questi calcoli.

Se le pareti non sono perfettamente assorbenti, agli effetti prodotti dall'irraggiamento diretto si aggiungono quelli delle riflessioni multiple fra le stesse pareti, accompagnate da successivi assorbimenti del mezzo.

Quando però le pareti sono tutte della stessa natura ed a temperatura uniforme (è il caso tipico delle camere completamente schermate costruite per la combustione di carbone polverizzato) gli scambi fra i loro elementi sono evidentemente nulli e la (29) integrata continua ad essere valida anche per l'insieme del fenomeno.

L'effetto delle riflessioni può essere trascurato anche per pareti in condizioni differenti se i corrispondenti fattori r sono molto piccoli [2].

Per tener conto delle riflessioni occorre pensare che l'energia irraggiata in totale su una parete risulta somma di quella inviata

---

[1] In realtà per le incidenze radenti r cambia notevolmente, ma sembra probabile che queste incidenze nel totale contino poco.

[2] Per le superfici metalliche ossidate e per i refrattari fuligginosi questi fattori si valutano intorno a 0,10. Per le superfici irregolari e per quelle dei fasci di tubi si adottano dei fattori fittizi riferiti alla superficie apparente. (Cfr. M. Fishenden e O. A. Saunders, *The calculation of heat transmission*, Londra, 1932, p. 35).

direttamente dal mezzo (f_g) e dalle altre pareti attraverso al mezzo e di quella che arriva indirettamente per effetto delle riflessioni.

Si può così scrivere un sistema di equazioni di primo grado (una equazione per ogni superficie considerata) dal quale, se sono noti o sono calcolabili i flussi diretti e le porzioni assorbite dal mezzo, si ricavano i flussi totali F.

L'energia, positiva o negativa, scambiata in complesso per irraggiamento termico dalla parete in esame col resto della camera è allora nell'unità di tempo:

$$Q_i = F(1 - r) - f \qquad \text{kcal/h} \tag{30}$$

dove il flusso f emesso dalla superficie S alla temperatura T per il principio di Kirchhoff vale:

$$f = (1 - r)\sigma T^4 \cdot S\,. \tag{31}$$

La medesima superficie scambia inoltre per convezione col gas che la lambisce la quantità di calore Q_c.

Per esempio se la camera è limitata da pareti in parte (m) di refrattario e in parte (u) a tubi d'acqua e cogli indici m ed u si fa riferimento a queste due parti, il sistema di cui si è parlato si scrive:

$$\begin{cases} F_u = f_{gu} + (1-A_m)k_m(f_m + r_m F_m) + (1-A_u)(1-k_u)(f_u + r_u F_u) \\ F_m = f_{gm} + (1-A_m)(1-k_m)(f_m + r_m F_m) + (1-A_u)k_u(f_u + r_u F_u) \end{cases} \tag{32}$$

e quindi:

$$\sum f = \sum (1 - r)F \tag{33}$$

dove k_m è la quota di f_m diretta verso u e k_u è la quota di f_u diretta verso m [1].

Molte formule attualmente note in casi particolari sugli scambi per irraggiamento possono essere dedotte dalle (32) (V. Appendice).

Lo stesso sistema è applicabile ad alcuni tipi di forni metallurgici [2] e ai focolai muniti di graticola, con pareti completamente

---

[1] Il calcolo dei fattori k di configurazione (fra i quali sussistono semplici relazioni) è possibile in alcuni casi importanti mediante le formule di Lambert e derivate e mediante costruzioni ed artifici grafici di vario genere già noti in fotometria (v. Com. N. 110 citata). Per la nomenclatura si veda la Comunicaz. N. 125 del Prof. E. Perucca alla 43ª Riunione Annuale dell'A. E. I.

[2] Cfr. W. Heiligenstaedt, « Arch. f. Wärmewirtschaft », 1937, p. 325; M. Véron, *Tendances actuelles des téchniques de la chaleur*, Paris, 1938, pag. 97. Il Véron tratta il caso dello strato piano illimitato e ritiene implicitamente $A_u = A_m$, ciò che è manifestamente scorretto.

schermate, facendo riferimento colla lettera m al piano della graticola (r_m vale allora praticamente zero).

Il calcolo precedente suppone nota la temperatura media del mezzo e delle pareti. Per una verifica dei valori adottati o per una loro eventuale correzione si potrà applicare il principio della conservazione dell'energia.

Se si tratta di un focolaio si scriverà che il calore messo nel medesimo a disposizione, in primo luogo dalla combustione, in secondo luogo dall'aria comburente e dal combustibile se preriscaldati, è uguale al calore ricevuto dall'acqua che scorre nei tubi prospicienti il focolaio, più il calore ancora cedibile dai fumi uscenti dallo stesso focolaio, più infine il calore corrispondente ai disperdimenti.

La $\sum (Q_i + Q_c)$ estesa a tutte le pareti deve inoltre risultare uguale al calore ad esse effettivamente ceduto, deducibile dalle stesse quantità ora elencate.

Se si mettono la quantità Q_i e Q_c sotto forma di funzioni dei consueti coefficienti di cessione del calore h_i ed h_c, si trovano per h_i dei valori che per temperature elevate possono facilmente superare il centinaio di kcal/mq, h, °C, mentre è noto che h_c, se si eccettuano alcune recenti caldaie a combustione sotto pressione, giunge raramente alla metà del valore ora indicato.

L'analisi delle grandezze relative alla combustione esce dal quadro di questo lavoro.

***

Varie formule sono state date per un calcolo sommario dei focolai. Secondo una delle più comprensive ed utili per un primo orientamento [1], del calore Q (kcal/h) sviluppato dal combustibile sarebbe utilizzata nel focolaio la frazione:

$$\frac{1}{1 + mG_a\sqrt{Q/S}} \tag{34}$$

dove m è un coefficiente dipendente da varie circostanze e in media prossimo a 0,0002, G_a è il rapporto del peso dell'aria com-

---

[1] *A. S. M. E. Trans. 47* (1925), p. 1152; « Ind. Eng. Chem. » *24* (1932), p. 486. Per un'altra formula cfr. R. LEGENDRE, « Bull. Ass. Techn. Mar. et Aéron. », 1935, p. 377.

burente al peso del combustibile, S (in mq.) è la superficie di riscaldamento esposta alle fiamme.

La validità della (34) s'intende limitata a condizioni di funzionamento non troppo diverse dalle normali.

Appendice.

Casi particolari del problema relativo al sistema (32):

1) i fattori r sono nulli o trascurabili;

2) non vi sono interscambi tra gli elementi di u (o di m) (forme piane o tondeggianti): $k_u = 1$ (oppure $k_m = 1$);

3) il mezzo non è assorbente:

$$f_{\sigma u} = f_{\sigma m} = 0 \quad ; \quad A_m = A_u = 0 \; ;$$

4) le condizioni 2) e 3) si avverano insieme.

Si ricava allora:

$$(Q_i)_u = \frac{k_m f_m(1 - r_u) - f_u(1 - r_m)}{(1 - r_m) + k_m(1 - r_u)[1 - (1 - r_m)]} \tag{35}$$

e ponendo:

$$\sigma_u = (1 - r_u)\sigma \quad ; \quad \sigma_m = (1 - r_m)\sigma$$

si ottiene:

$$(Q_i)_u = \frac{k_m S_m T_m^4 - S_u T_u^4}{\dfrac{1}{\sigma_u} + k_m\left(\dfrac{1}{\sigma_m} - \dfrac{1}{\sigma}\right)} \, . \tag{36}$$

Se Q_i tende a zero, k_m tende a S_u/S_m.

In generale però la

$$k_m = \frac{S_u}{S_m} \tag{37}$$

non è vera; in vari casi la si ammette come prima approssimazione per evitare il calcolo di k. Si arriva così [1] alla nota formula:

$$(Q_i)_u = \frac{T_m^4 - T_u^4}{\dfrac{1}{\sigma_u} + \dfrac{S_u}{S_m}\left(\dfrac{1}{\sigma_m} - \dfrac{1}{\sigma}\right)} S_u \, . \tag{38}$$

---

[1] C. Christiansen, « Wied. Ann. », *19* (1883), p. 267.

PIETRO E. BRUNELLI

DIRETTORE DEL LABORATORIO DI MACCHINE TERMICHE
DEL R. POLITECNICO DI TORINO

Alcune conseguenze strutturali dell'evoluzione delle caldaie a vapore.

RIASSUNTO — *Riflessioni intorno ai più recenti studi sulla resistenza delle caldaie a vapore e dei surriscaldatori per pressioni e temperature elevate, con particolare riguardo alla resistenza dei collettori.*

1. PREMESSE. — Il bisogno di ottenere dalla macchina a vapore rendimenti molto maggiori di quelli che per lunghi anni erano sembrati soddisfacenti ha condotto per varie applicazioni all'adozione di valori elevatissimi della pressione e della temperatura e questo ha portato considerevoli modificazioni non soltanto nelle caratteristiche termodinamiche degli impianti ma anche nei criteri di proporzionamento strutturale di tutte le loro parti e segnatamente delle caldaie.

Pressioni alte o altissime importano l'adozione di involucri di grande spessore anche se i diametri si riducono al minimo possibile, onde qualche volta si rasenta, qualche volta si varca il limite oltre il quale le pareti degli involucri non possono essere più considerate come sottili; tensioni sinora legittimamente trascurate debbono essere prese in considerazione; gli effetti delle variazioni di temperatura sui valori delle caratteristiche dei metalli e su quelli delle tensioni vanno prendendo importanza sempre crescente; anche i limiti di applicabilità dei materiali comuni vengono in alcuni casi superati e bisogna ricorrere all'impiego di materiali speciali e costosi; ragioni di peso, di ingombro e di spesa impongono l'aumento delle sollecitazioni unitarie, anche all'infuori della generale tendenza a limitare in ogni campo i margini di sicurezza. Tutto questo pone l'ingegnere di fronte a problemi

nuovi ed impone la revisione dei procedimenti tradizionali e canonici di studio e di calcolo; impone soprattutto di considerare le cose molto più da vicino perchè la disinvolta semplicità di analisi che era tollerabile con strutture largamente proporzionate ed esposte a cimenti che oggi ci sembrano limitatissimi (anche se hanno alquanto spaventato nelle primitive applicazioni) non offrirebbe più neppure quel minimo di garanzia di sicurezza che ancora si richiede.

E quindi in ogni campo e in particolare in quello delle caldaie è in corso un'attenta opera di revisione e di raffinamento dei procedimenti di calcolo. Per taluni particolari trapela anche qua e là un certo senso di inquietudine; però bisogna dire che non di rado le inquietudini sono dovute a incomplete o inesatte informazioni. Talune avarie, dolorose per le loro gravi conseguenze, non sono certamente riferibili a difetti di proporzionamento. In ogni modo vediamo svilupparsi una frequenza sempre maggiore di ricerche, talune sperimentali, altre teoriche, altre ancora statistiche nel senso di raccogliere con particolare attenzione le testimonianze del comportamento delle strutture in esercizio.

Qualche tempo fa il Consiglio delle Ricerche ha ritenuto di dover prendere in particolare esame la questione della resistenza dei collettori delle caldaie a vapore ed ha incaricato di considerarla una Commissione i membri della quale (Sirovich, Bertella, Brunelli, Caruana, Celentano, Cicala, Cortese, Forcella, Grazioli, Malagoli, Musatti, Rabbeno, Solimbergo, Zappa) appartengono all'insegnamento superiore, alle grandi amministrazioni dello Stato, a talune fra le più importanti ditte costruttrici italiane. La questione ha molti aspetti ed alcuni di essi verranno particolarmente studiati da altri colleghi della Commissione. Alcuni sono stati considerati da chi scrive che ha cercato nelle note che seguono di esporre come meglio ha saputo lo stato odierno delle cose. Va rilevato che le indicazioni richieste alla Commissione riguardano piuttosto i collettori dei tipi normali largamente in uso anche per pressioni alte che non specificamente quelli di un pezzo che si sono introdotti più di recente per le pressioni eccezionalmente elevate.

Si vedrà che parecchi problemi sono ancora imperfettamente risolti. Quella di redigere questa esposizione non sarà stata fatica sprecata se invoglierà qualcuno a tentare ulteriori progressi; e vi è lavoro utile da fare per studiosi di ogni attitudine e di ogni levatura, e indubbiamente opportuno perchè le note che seguono piuttosto che di conclusioni hanno il carattere di introduzione allo studio di questi problemi.

Ai contributi anteriori che mi sembrano presentare maggiore interesse accennerò naturalmente mano a mano che se ne presenterà l'occasione. Faccio menzione a parte qui, perchè non è stata pubblicata, di una importante relazione dell'ing. Giorgio Rabbeno, comunicata alla Commissione. Per notizie ed elementi cortesemente comunicati debbo dei ringraziamenti al Sig. M. Jurist Segretario del Boiler Code Committee della Società americana degli ingegneri meccanici, al Sig. V. Kammerer, ingegnere capo della Società alsaziana dei proprietari di caldaie a vapore ed all'Ing. G. Zappa dei Cantieri del Tirreno; per qualche aiuto nella esecuzione di calcoli e figure ai miei assistenti prof. Codegone, ing. Tarchetti ed ing. Ferraro.

Le formule in uso derivano dalla considerazione di un involucro cilindrico, con parete sottile e di spessore costante, senza discontinuità o altre anomalie di forma, impiegato a temperature moderate. Gli elementi ai quali si va rivolgendo l'attenzione sono i seguenti:

1) coll'aumentare delle pressioni di esercizio cresce il rapporto s/d dello spessore al diametro; onde può mettersi in dubbio l'attendibilità delle formule ricavate considerando la parete sottile. Gli effetti da considerare sono due completamente distinti:

a) la tensione circonferenziale nella parete non è più indipendente dal raggio; ma cresce dalla superficie esterna a quella interna dell'involucro; il valore massimo può differire sensibilmente da quello medio;

b) le tensioni radiali, che nel caso degli involucri a parete sottile sono sempre legittimamente trascurate, possono assurgere a valori notevoli, in modo che occorra prenderle in considerazione.

2) Si hanno concentrazioni locali delle tensioni perchè le lamiere vengono forate per le chiodature e per l'inserzione dei tubi. Se ne hanno anche per altri fori, ma queste si limitano con rinforzi locali. La questione si può prendere in esame in due modi:

a) considerando le tensioni uniformemente ripartite in corrispondenza delle sezioni resistenti minime residue, e correggendo i risultati con fattori approssimativi;

b) cercando, fin dove è consentito dai mezzi disponibili e cioè dallo studio analitico in base alle leggi dell'elasticità e dalle indagini sperimentali, di determinare la distribuzione reale delle tensioni.

In ogni modo non va dimenticato che oltre ai casi semplici di un foro isolato o di una serie di fori disposti secondo una linea

semplice vanno considerati i casi reali nei quali i fori sono disposti in più linee parallele ed alternati fra di loro oppure opposti l'uno all'altro.

3) I calcoli coi quali si determina la distribuzione delle tensioni nei cilindri a parete grossa, nelle piastre forate ecc. sono fondati sull'ipotesi della proporzionalità delle deformazioni alle tensioni e questo circoscrive il campo delle loro applicabilità.

Si dice correntemente che i risultati sono applicabili al disotto del limite di elasticità; se non che nella nomenclatura ormai accettata abbiamo due valori ben distinti e, secondo i materiali, più o meno lontani l'uno dall'altro e cioè il limite di elasticità ed il limite di proporzionalità.

Non esistono materiali che corrispondano con esattezza assoluta alle concezioni ideali e quindi emerge la necessità di definire le tolleranze accettabili; in sostanza si conviene di considerare come nullo, e quindi non contraddicente alla definizione di materiale elastico un allungamento permanente di *m* %; se non che a questo *m* da autorità diverse sono assegnati valori disparatissimi; discorsi analoghi si potrebbero fare sul rigore della proporzionalità degli allungamenti ai carichi. In conclusione, come sempre, a base dei calcoli si pongono delle ipotesi e queste sono verificate soltanto fino a un certo punto. Tocca all'ingegnere di valutare l'influenza di queste deviazioni e questo non si può fare in linea generale ma secondo le peculiari circostanze di ciascun caso.

Ma non è lecito giocare sulle parole ed estendere i risultati fino a ciò che si chiama il limite elastico quando questo è superiore al limite di proporzionalità. Al disopra del limite di proporzionalità e al disotto di quello elastico saremo di fronte a distribuzioni di tensioni non ben conosciute che non alterano le caratteristiche del materiale. Se si oltrepassa anche il limite elastico interverranno gli incrudimenti con tutte le loro conseguenze.

Queste cose vanno messe in chiaro perchè sinora si sono stabiliti i carichi di sicurezza come proporzionali ai carichi di rottura secondo un certo coefficiente di sicurezza. Ora si tende a porre il carico di sicurezza proporzionale, secondo un coefficiente ragionevolmente minore, al carico al limite di elasticità nel senso di assicurarsi contro deformazioni permanenti; non bisogna dimenticare che questo e il limite di proporzionalità non sono la stessa cosa.

4° Vi sono molteplici tensioni che volentieri si considerano come secondarie, ma non sempre sono trascurabili. Un coefficiente di sicurezza dell'ordine di 4 a 5 copre senza inconvenienti una

infinità di inesattezze, trascuranze ed errori nei calcoli; ma quando riferendosi a limiti di elasticità il coefficiente di sicurezza si riduce a valori di poco superiori all'unità, certe disinvolture non sono più legittime.

Beninteso se il rapporto delle tensioni che si producono a quelle al limite di elasticità sale al disopra di uno questo non vuol dire che ne debbano seguire rotture o esplosioni, ma gli inconvenienti anche se non immediati o non catastrofici possono sempre essere degni di rilievo e dare eventualmente grossi fastidi.

Fra queste tensioni più o meno secondarie vanno ricordate anzi tutto le tensioni di discontinuità in corrispondenza all'origine dei fondi, tanto se questi sono riportati quanto se sono fucinati di pezzo.

Altre tensioni possono provenire da dissimmetrie di forma, per esempio per il diverso spessore del collettore nelle due zone in corrispondenza o no dei tubi, dissimmetrie che è costoso scansare; per deviazioni originali o dipendenti dalle deformazioni che si producono in esercizio dalla forma circolare della sezione e, se si vuole, dalla forma rettilinea dell'asse dell'involucro; altre ancora possono derivare dai momenti flettenti dovuti al peso del sistema in relazione alla distribuzione dei vincoli.

Fra le tensioni secondarie possiamo anche annoverare quelle dovute alla mandrinatura dei tubi, anche esse oggetto di recente di notevoli indagini.

5° Le tensioni dovute a pressione di fluido salgono a valori molto maggiori dei normali durante le prove idrostatiche delle caldaie. Nelle condizioni presenti la questione merita grandissima attenzione. In alcuni casi non soltanto si annullano completamente i margini rispetto al limite elastico, ma questo limite è ampiamente superato. Il materiale viene assoggettato durante la prova ad un cimento esagerato e di utilità contestabile e la prova lascia un'eredità di fastidi per l'incrudimento locale del materiale nelle regioni più sollecitate. Si possono imporre le condizioni di prova che si vogliono, ma bisogna accettarne le conseguenze e cioè aumenti di dimensioni adeguati agli aumenti di pressione. Viceversa se si vuol far leggero bisogna rinunciare agli eccessi di pressione esagerati.

6° L'effetto delle alte temperature va considerato sotto tre punti di vista distinti:

a) si possono avere sollecitazioni termiche propriamente dette. Queste dipendono sempre da limitazioni opposte alle dilatazioni corrispondenti alle variazioni di temperatura. Ma si può

trattare di vincoli esterni e le tensioni dipendono dalle differenze fra le temperature iniziale e finale; oppure di vincoli emergenti dalla forma stessa dell'involucro e dalla differenza delle temperature simultaneamente regnanti in diverse parti del solido, e queste dipendono dal flusso di calore che attraversa la parete. È importante tenere presente che queste tensioni sensibilmente sono indipendenti dalle temperature dei mezzi separati dalla parete, ed anche, in prima approssimazione, dalla temperatura media della parete e sono invece funzione della differenza di temperatura fra le due faccie della parete.

Altre sollecitazioni termiche e non di piccola importanza possono dipendere da distribuzioni di temperature non simmetriche o per qualunque ragione anormali, sia in periodo di regolare funzionamento, sia nei periodi di avviamento;

b) la temperatura influisce anche in un altro modo, perchè ai valori che attualmente si raggiungono variano rapidamente tutte le caratteristiche elastiche dei materiali. Variano i carichi al limite di rottura e a quello di elasticità e variano per conseguenza anche i carichi di sicurezza da adottare. Inoltre variano i valori dei vari moduli (di Young, di Poisson) e quindi i valori e la distribuzione delle tensioni termiche, in seconda approssimazione, sono funzione della temperatura media;

c) finalmente la temperatura agisce in un terzo modo che non ha niente di comune coi due precedenti; e cioè pel manifestarsi di fenomeni di flusso plastico del metallo. Questo diventa sensibile soltanto per temperature e tensioni superiori a certi limiti. Nelle condizioni dei collettori si tratta quindi di fenomeni locali limitati a regioni abbastanza ristrette della parete. Dal punto di vista della conoscenza il caso è più complesso di quelli in cui il comportamento plastico si estende uniformemente a tutto il pezzo. In altri elementi delle caldaie ed in ispecie nei tubi gli effetti di questo genere possono essere più vistosi. Ho fornito qualche indicazione al riguardo in un mio libro recente (*Termotecnica* II, 1). Lo studio dell'equilibrio dei sistemi in cui si verificano anche deformazioni non elastiche, con estese applicazioni anche in altri campi, è stato fatto dal prof. G. Colonnetti in una serie di importanti memorie di cui è fornito l'elenco in quella contenuta nel Vol. II, fasc. 12 (1938) delle « Commentationes » della Accademia Pontificia delle Scienze.

7° Appena si esce dai casi più semplici e dalle trattazioni più elementari ci si trova dinnanzi a sistemi di sollecitazioni più o meno complessi e quindi in diversi studi recenti è stata solle-

vata la questione del criterio da adottare per il proporzionamento. Ne diremo più innanzi qualche parola.

Vi sono molti casi nei quali l'adozione di un criterio piuttosto che l'altro non conduce a differenze sensibili di proporzioni, ma non è sempre così ed allora occorre preoccuparsi del fondamento dei criteri stessi. Vi ha chi riconosce ad uno di essi la maggiore attendibilità ma ne esclude l'impiego perchè darebbe luogo a formule troppo complicate. Il ragionamento è piuttosto balordo. Intanto questa eccessiva complicazione molte volte non esiste. Per alcuni casi ben caratterizzati sono state anche oramai costruite tabelle di calcoli fatti. Per esempio ne ho fornita una io in un mio libro; un'altra è stata pubblicata nel periodico « Il Calore » del maggio 1937, ecc. Ma se anche i calcoli fossero realmente difficili e laboriosi bisogna ben persuadersi che non è possibile conciliare l'ardimento costruttivo con l'insufficiente istruttoria tecnica sia essa dovuta a pigrizia mentale, a inadeguata preparazione di chi disegna o ad avarizia di tempo, di lavoro o di denaro.

È manifesto che non è possibile affrontare simultaneamente tutte le questioni alle quali si è accennato. Non si può far altro che considerarle una ad una e delle meno importanti tener conto ricavando adeguati fattori di correzione. Il procedimento non ha la pretesa di passare per rigoroso, ma impiegato con le debite cautele basta per i bisogni delle applicazioni.

È manifesto anche che nelle presenti note non è il caso di occuparsi di tutte le questioni accennate, per alcune delle quali d'altronde non vi è più bisogno di divulgazione. Si forniranno alcune indicazioni relative a qualcuna di esse. In particolare ci si limiterà a considerare la parte cilindrica degli involucri e non si tratterà dei fondi, i quali dànno luogo ad un'altra serie di problemi, qualcuno anche abbastanza complesso.

2. Criteri di proporzionamento. — Non è il caso di esaminare qui il problema dei criteri di proporzionamento, tanto più che se ne tratta ampiamente in molti libri recenti sulla resistenza dei materiali. Si farà soltanto un rapido richiamo perchè in memorie recenti si va discutendo se nel proporzionamento si debba adottare il criterio di porre un limite alla tensione massima, come è fatto ancora nelle formule di impiego corrente o piuttosto allo sforzo unitario di taglio. Della risurrezione di questo vecchio criterio molti scrittori francesi fanno onore al generale Malaval, ma in realtà essa risale parecchio più indietro. È molto probabile che nè l'uno, nè l'altro sia la soluzione giusta, e che invece nel caso nostro sia da preferire il criterio del massimo lavoro di deformazione.

Vi è un fatto che ha più che altro carattere aneddotico, ma è abbastanza significativo. Nella fig. 1 che è riprodotta dal libro del Morley: *Strength of Materials* (7ª ediz., 1928, ma il libro risale

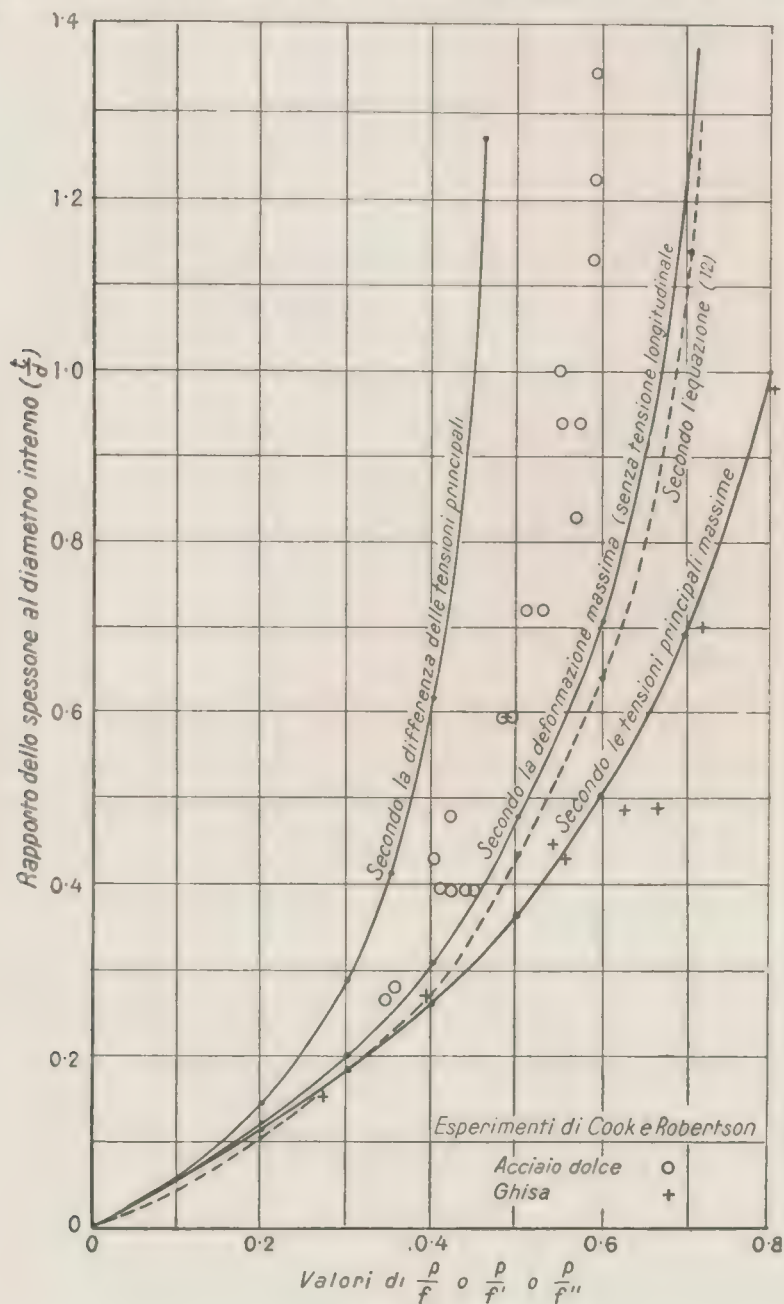



Fig. 1.

al 1908) sono indicati i risultati di note esperienze dei signori Cook e Robertson sopra cilindri a parete grossa, in confronto delle linee rappresentanti i risultati calcolati in base a diverse teorie; ma chi ha tracciato quella figura non ha considerato la teoria del lavoro di deformazione. I punti sperimentali sono abbastanza

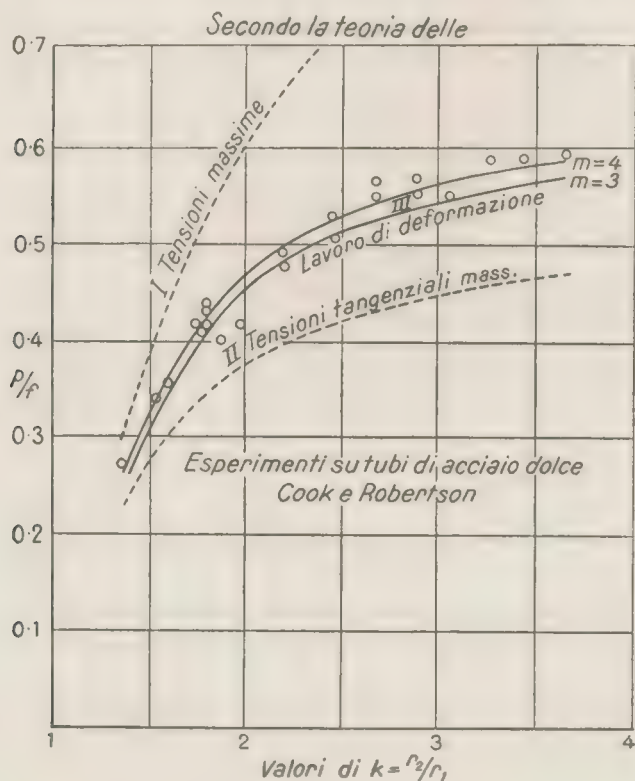



Fig. 2.

lontani dalle curve che traducono le diverse teorie, ma come si vede si allineano spontaneamente con grande approssimazione secondo un'altra curva.

Se ora consideriamo la fig. 2 (e questa è riprodotta dal trattato più recente [1932] del Case che ha lo stesso titolo) si vede che tale curva con ragionevole approssimazione è quella corrispondente alla teoria del Beltrami, diffusa nel campo tecnico dai lavori dell'Haig.

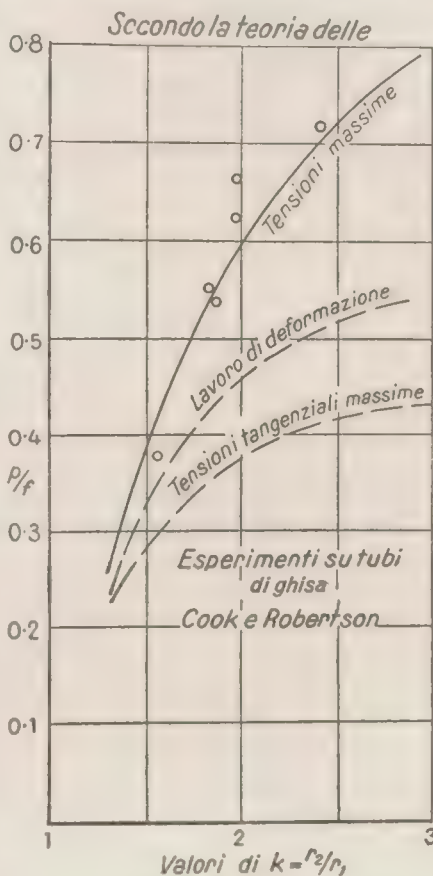
Riproduciamo anche dal Case la fig. 3 per temperare le conclusioni che precedono, che possono riferirsi soltanto a materiali duttili, mentre, per esempio per la ghisa, la teoria della tensione massima rappresenta assai più da vicino i risultati sperimentali.

Diagrammi come quelli delle figure che precedono sono molto utili per una esposizione approssimativa dei fenomeni ma hanno il grave difetto di obliterare circostanze importanti, soprattutto nella regione che per le caldaie ha maggiore interesse, e cioè per valori degli spessori non più piccolissimi ma nemmeno molto grandi. Per questo motivo ho ricostruito tali diagrammi come si vede nella fig. 4, rappresentando le stesse cose ma in coordinate diverse. Le ascisse sono ancora i rapporti $p_{i/\sigma}$, ma le ordinate in sostanza sono i rapporti degli spessori richiesti dalle diverse teorie a quelli che risulterebbero calcolando l'involucro a tensione massima e considerando la parete come sottile. In tal modo quello che succede pei valori medii delle pressioni interne è messo in chiara evidenza, tanto che è inutile dilungarsi in commenti.

Fig. 3.

Ora se si considera la fig. 4 appare manifesto che l'impiego delle formule del Bach è pericoloso perchè esse conducono a spessori inadeguati, o quanto meno a margini di sicurezza più ristretti di quelli presunti, ma anche l'impiego delle formule derivanti dalla teoria del valor massimo dello sforzo di taglio (nella figura indicata sotto il nome del Guest) in molti casi è deprecabile, perchè può condurre a spessori esagerati, ed in molti campi di applicazione non possiamo affatto prenderci il lusso di simili eccessi.

Per il caso dei corpi cilindrici possono servire queste indicazioni grossolane:

Se lo spessore è ancora abbastanza piccolo le pressioni radiali sono trascurabili; vanno tenute presenti le tensioni circonferenziali ed assiali entrambe positive. Per

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \leq \frac{2}{m}$$

che è il caso più comune anche la teoria del Beltrami conduce a spessori minori (ma non molto) delle formule usuali; e quindi l'impiego di queste è legittimo e prudente e non conduce neppure a sensibili eccessi di peso.

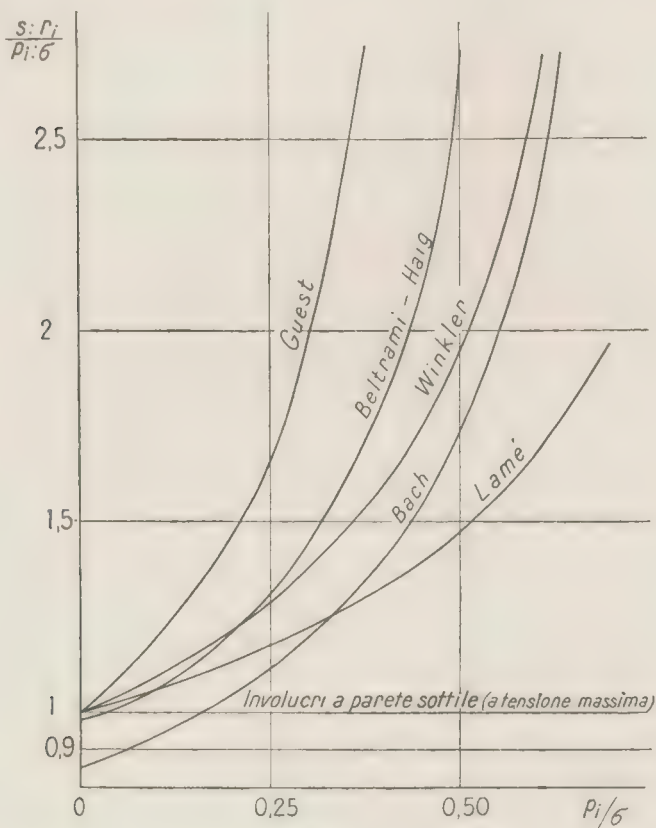



Fig. 4.

Invece per pressioni molto elevate, e quindi spessori notevoli in confronto del raggio svanisce l'importanza della tensione longitudinale ma diventa sensibile quella delle tensioni radiali negative. Siamo in presenza di due tensioni di segno contrario; in confronto della teoria della tensione massima tutte le altre segnano aumenti di spessore: piccolo la teoria del Saint Venant, grandissimo quella del Guest, intermedio e per l'acciaio dolce verisimilmente giusto quella del Beltrami.

3. In quali casi sia necessario impiegare le formule relative ai cilindri a parete grossa. — Alcune memorie

recenti fondano la trattazione sulle formule relative agli involucri a parete grossa. Anch'io in un libro recente ho dato a questa parte della materia ampio sviluppo. Ma bisogna intendersi. Se si fa una trattazione generale che debba valere fino alle più alte pressioni oggi usate questo è inevitabile. Per le pressioni di impiego più comune ed in particolare per quelle usate, salvo poche eccezioni, negli impianti marini è una raffinatezza non giustificata dall'approssimazione che in realtà si può conseguire.

In un involucro continuo e di spessore uniforme il rapporto fra le tensioni circonferenziali massima e minima è in prima approssimazione

$$\frac{\sigma_i}{\sigma_e} = \frac{r_e}{r_i},$$

in seconda approssimazione

$$\frac{\sigma_i}{\sigma_e} = \left(\frac{r_e}{r_i}\right)^{1+\frac{1}{m}},$$

in terza approssimazione è compreso fra i due. Ora per alcuni valori del rapporto dello spessore al raggio interno abbiamo:

$\frac{s}{r_i}$	$\frac{r_e}{r_i}$	$\left(\frac{r_e}{r_i}\right)^{1+\frac{1}{m}}$
0,01	1,010	1,013
0,02	1,020	1,026
0,03	1,030	1,039
0,04	1,040	1,052
0,05	1,050	1,065
0,06	1,060	1,079
0,07	1,070	1,092
0,08	1,080	1,105
0,09	1,090	1,118
0,10	1,100	1,132
0,15	1,150	1,192
0,20	1,200	1,268

Questi sono i rapporti della tensione massima alla minima; pei rapporti della tensione massima alla media l'eccesso sopra uno è pari circa alla metà. Onde si vede che nei casi ordinari di collettori di caldaie marine la differenza fra la tensione circonferenziale massima e la media è molto piccola.

La tensione radiale negativa è massima in prossimità della superficie interna dell'involucro ed ivi uguale alla pressione interna. Per esempio per una pressione interna di 40 Kg. per cmq. ha

ivi il valore di 0,4 Kg. per mmq. in confronto di tensioni circonferenziali massime di 15 o 20 Kg. per mmq. Non appare logico di tener conto di correzioni dell'ordine del 2 % sinchè l'incertezza sui valori principali è molte volte maggiore.

Tutto sommato per le pressioni correntemente impiegate nelle caldaie marine (esclusi ben inteso gli impianti ancora sperimentali a pressioni eccezionalmente alte) appare ancora lecito impiegare le formule relative agli involucri a parete sottile.

Bisogna dire che questa è una circostanza abbastanza fortunata perchè andare a ricercare la distribuzione delle tensioni in una piastra forata se esse variano anche con la distanza dalla superficie non sarebbe un compito molto semplice; nè finora si ha alcun principio di trattazione al riguardo.

Anche Kammerer e Parmentier arrivano ad una conclusione analoga che esprimono dicendo che la formula usuale che si riferisce a cilindri a parete sottile e non tiene conto della tensione assiale si può applicare fino a che lo spessore non eccede 0,20 del diametro.

Giova tener presente che se lo spessore dell'involucro non è piccolissimo il rapporto della tensione circonferenziale a quella longitudinale σ_l non ha più il valore 2 che correntemente si ammette. Con procedimenti del tutto elementari chiamando σ il valore medio della tensione circonferenziale, si trova

$$\sigma_l = \frac{\sigma}{2} \frac{1}{1 + \frac{s}{d}}$$

e quindi, per esempio, per $s = 40$ mm. $D = 1000$

$$\sigma_l = \frac{\sigma}{2,08}$$

e naturalmente il rapporto di σ_l al valor massimo σ_{max} della tensione circonferenziale è ancora minore. In una serie di casi relativi a caldaie marine è stato trovato

$$\frac{\sigma_l}{\sigma_{max}} = \frac{1}{2,10} \div \frac{1}{2,30} .$$

4. Norme dell'Associazione alsaziana dei proprietari di apparecchi a vapore. - Rilievi circa la pressione nelle prove idrostatiche.

Le norme dell'Associazione Alsaziana dei proprietari di apparecchi a vapore suggeriscono alcune considerazioni che mi sembrano istruttive.

La formula dei corpi cilindrici è del solito tipo; con le nostre notazioni usuali essa diviene

$$s = \frac{pd}{200 \frac{\sigma_r}{x} z} + 1 .$$

È ammesso l'impiego di questa formula fino a che s non risulta sensibilmente superiore a 0,05 d.

In essa si prevede normalmente $x = 4$; ma questo valore è aumentato se la lamiera può raggiungere temperature elevate, e su questo ritorneremo in altro paragrafo. Inoltre il coefficiente di sicurezza $x = 4$ rispetto al carico di rottura è subordinato alla condizione che il carico al limite di elasticità (e in queste norme si intende il limite apparente di elasticità) non sia inferiore alla metà del carico di rottura. Dimodochè un coefficiente di sicurezza 4 rispetto al carico di rottura implicherebbe un coefficiente di sicurezza di almeno 2 rispetto al carico al limite di elasticità. (Ma vedremo subito che cosa avviene in questo margine). In sostanza l'associazione alsaziana rimane fedele al procedimento tradizionale di stabilire il carico di sicurezza in funzione del carico di rottura, ma aggiunge la condizione che lo stesso carico di sicurezza non ecceda il carico al limite di elasticità, e questo è un modo di procedere abbastanza diffuso anche in altri campi e che appare certo per diversi punti di vista piuttosto attraente.

Ora secondo le norme dell'Associazione alsaziana si calcola il coefficiente relativo alla resistenza residua della lamiera bucata nelle solite ipotesi che le tensioni siano uniformemente distribuite, ma lo z che si introduce nella formula è soltanto 0,8 del coefficiente così calcolato. Questa riduzione dello z è stata adottata per tener conto delle maggiori sollecitazioni dovute alle punte del diagramma delle tensioni in prossimità dei fori, ed anche fino a un certo punto di quelle dovute alla mandrinatura. È stato presunto un fattore di concentrazione 2,4 per la disuniforme distribuzione delle tensioni e questa cifra è stata arrotondata a 2,5. In sostanza si assegna lo spessore in vista di una tensione massima

$$0{,}8 \times 2{,}5 \times \frac{\sigma_r}{x}$$

e per $x = 4$

$$\frac{\sigma_r}{2}$$

che per i criteri prima indicati si assume press'a poco uguale al carico al limite di elasticità.

Se tutto questo è giusto, rispetto al limite di elasticità non rimane alcun margine di sicurezza. (In realtà la situazione è un po' migliore perchè il fattore di concentrazione 2,4 è spesso troppo elevato; e su di questo ritorneremo più innanzi).

La conseguenza abbastanza seria è che ammesso pure che tutto vada ancora bene in condizioni di esercizio, nelle prove idrostatiche il materiale può essere sollecitato al di là del limite di elasticità, ed anche molto al di là di questo limite, ed in questo probabilmente è da riconoscere l'origine di inconvenienti che hanno tal volta suscitato qualche preoccupazione.

A queste considerazioni se ne può tuttavia contrapporre una rassicurante. Se in esercizio il metallo si trova ad una temperatura molto elevata va accertato che esso non sia soggetto a tensioni superiori al limite elastico, che a quelle temperature è notevolmente più basso di quello a temperatura ordinaria. La prova idrostatica si fa a freddo e quindi rispetto al limite elastico ricuperiamo un poco di margine. La conclusione è che si rendono necessarie due verifiche distinte; una alla pressione di esercizio per accertare un margine rispetto al limite elastico alla temperatura corrispondente ed una alla pressione della prova idrostatica per accertare il margine rispetto al limite elastico a freddo.

Queste condizioni possono suggerire anche un criterio utile circa la pressione da adottare nella prova idrostatica, intorno alla quale le opinioni sono abbastanza discordi e che da parecchi si vorrebbero portare a valori forse inutilmente elevati. Merita la pena tener conto per le diverse classi di caldaie dei due distinti valori del carico al limite di elasticità a freddo e alla temperatura di esercizio e porre la condizione che la prova idrostatica non conduca rispetto a detto carico a margini minori di quelli che si hanno in funzionamento normale.

5. Verifiche relative alla distanza delle file dei fori. — La formula riportata nel paragrafo precedente è quella adottata in generale dagli enti di controllo, con prescrizioni varie circa la valutazione dei diversi fattori. Nell'assegnare il valore del modulo di efficienza z, diversi enti tengono conto soltanto del passo longitudinale. Non bisogna tuttavia dimenticare che vi sono molte file di fori e che anche la distanza fra le file ha la sua importanza. La questione è presa espressamente in considerazione nel codice americano e nelle norme dell'Associazione alsaziana, ma in due modi molto diversi.

In entrambi è ancora ammesso che le tensioni siano uniformemente ripartite sulla lunghezza della sezione residua. (Alla inevitabile disuniformità della distribuzione faremo riferimento più innanzi; ma anche all'infuori di questo punto bisogna convenire che nè l'una nè l'altra trattazione appaiono rigorosamente persuasive).

Con entrambi i procedimenti sono calcolati separatamente due moduli di efficienza, uno dipendente dal rapporto del diametro del foro al passo longitudinale e l'altro da quello del diametro del foro al passo diagonale e si introduce nelle formule il minore dei due. Parliamo del caso in cui i fori sono alternati nelle file adiacenti, il caso nel quale i fori sono opposti ha per la presente discussione minore interesse, e d'altronde la verifica della distanza delle file è allora immediata tenendo conto del rapporto della tensione longitudinale a quella circonferenziale.

Fino a che il passo diagonale è abbastanza grande la tensione massima si avrebbe negl'istmi longitudinali e quindi il modulo di efficienza da prendere in considerazione è il solito.

Ma quando la distanza delle file e per conseguenza il passo diagonale scende al disotto di un certo valore la tensione massima si ha nelle sezioni oblique e quindi va tenuto conto del modulo di efficienza che ne deriva.

Coi simboli della fig. 5 il regolamento dell'Associazione alsaziana calcola separatamente i valori dei due moduli:

$$\frac{i-\delta}{i}$$

$$\frac{i'-\delta}{i'} \quad \frac{1}{\cos^2 a + \frac{1}{2}\,\mathrm{sen}^2\, a}$$

e introduce nella formula il minore.

La derivazione di queste formule risale a concezioni famigliari e non è qui il caso di esporla e discuterla, benchè essa si presti ovviamente a critiche facili e di non lieve momento.

Il codice americano mira a tener conto anche degli sforzi di taglio che si hanno nelle sezioni oblique e lo fa con un procedimento dovuto al sig. J. E. Black della Compagnia Babcock e Wilcox e pubblicato nel *Marine Engineers' Handbook* del Comandante F. W. Sterling (New York, 1920, ed. Mc. Graw-Hill). Non sembra il caso di riprodurre qui questa trattazione che non è breve; essa può sembrare alquanto singolare, ma non è priva di

numerose analogie più o meno prossime in altri problemi che si è cercato di risolvere in via approssimativa, scansando i procedimenti generali della teoria della elasticità. I risultati non si possono compendiare in formule semplici onde si è ricorso all'espediente di rappresentarle in un abaco che da tempo è incorporato nel « Boiler Code » americano nel quale in funzione del passo longitudinale e di quello diagonale o più esattamente in funzione dei due rapporti i/d e i'/i è dato il valore del modulo di efficienza del giunto per mezzo di un fascio di linee a efficienza costante.

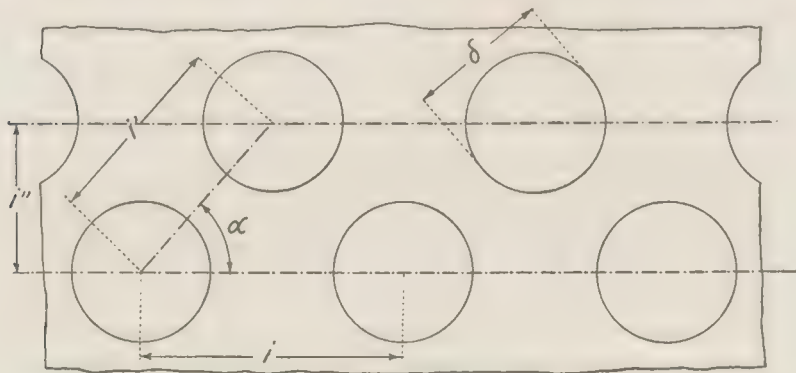



Fig. 5.

Naturalmente ciascuna di queste linee si compone di due tratti, uno rettilineo ed uno curvilineo secondo che il valore minimo dell'efficienza corrisponde alla sezione longitudinale o a quella diagonale.

Il codice americano è abbastanza conosciuto da noi in modo che non ci sembra necessario riprodurre questo abaco.

***

Per concretare le idee abbiamo considerato due casi particolari, per $i = 2\delta$ e per $i = 1{,}5\ \delta$ e ricavato nei due modi i valori dei moduli di efficienza per una serie di valori di i'/i. Il risultato dei calcoli è rappresentato nelle figure 6 e 7. Le linee AB, MN rappresentano il valore del modulo di efficienza finchè il punto più debole risulta nelle file longitudinali dei tubi. Se le file si ravvicinano il modulo diminuisce come rappresentano le linee BC, NP; e nei limiti delle applicazioni accade che il valore del modulo può effettivamente risultare minore di quello corrispondente alle file longitudinali.

Le linee ABC, MNP rappresentano i risultati dei calcoli secondo il codice americano, le linee ADE, MQR i risultati dei

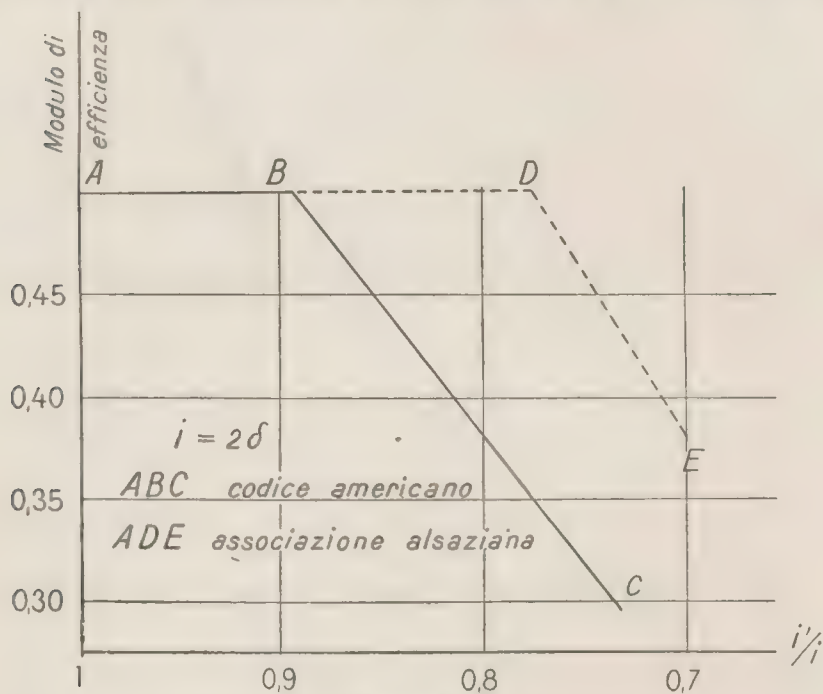



Fig. 6.

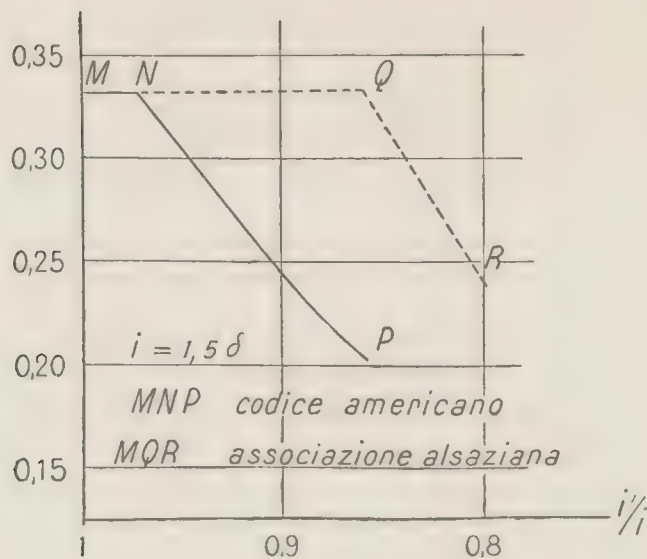



Fig. 7.

calcoli secondo l'Associazione alsaziana. I risultati sono molto discordi. Secondo il regolamento dell'Associazione alsaziana le efficienze appaiono notevolmente più elevate, ed è naturale poichè esso trascura una parte importante delle sollecitazioni.

Le conseguenze sulle dimensioni da assegnare sono molto meno importanti di quanto potrebbe parere perchè da un lato, come abbiamo già accennato, l'Associazione alsaziana riduce a 4/5 il modulo di efficienza che risulta dai calcoli, e adopra normalmente un coefficiente di sicurezza 4, dall'altro il codice americano che conta su moduli più bassi, li accetta però tali e quali. È da avvertire tuttavia che impone un coefficiente di sicurezza eguale a 5.

Passiamo dalle generalità alla pratica usuale. Nella tabella che segue sono segnati i dati occorrenti per una serie abbastanza

Diametro del foro	Passo			Modulo di efficienza		
					diagonale	
	longitudinale	diagonale	trasversale	longitud.	secondo l'associaz. alsaziana	secondo il codice americano
35,3	68,5	51,16	38	0,485	0,428	0,286
28,8	43	43,66	38	0,330	—	—
28,8	43	41,08	35	0,330	—	0,309
28,8	60,4	50,12	40	0,523	—	0,460
38,3	67	57,72	47	0,428	—	0,340
38,3	67	56,90	46	0,428	—	0,325
28,8	42,5	44,41	39	0,322	—	—
28,8	42,5	42,67	37	0,322	—	—
28,8	54	48,26	40	0,467	—	0,450
44,3	73,25	65,25	54	0,395	—	0,325
44,3	73,25	64,42	53	0,395	—	0,312
28,8	42,5	45,29	40	0,322	—	—
28,8	43,3	42,87	37	0,335	—	—
44,8	72,5	65,87	55	0,382	—	0,325
44,3	72,2	65,79	55	0,386	—	0,335
44,3	72,2	64,96	54	0,386	—	0,320
28,8	43,1	45,44	40	0,332	—	—
44,8	72,4	65,84	55	0,381	—	0,326
28,8	43	42,8	37	0,330	—	—
38,3	67,2	60,815	47	0,430	—	—
38,3	67,2	56,96	46	0,430	—	0,328
38,3	66,23	57,49	47	0,422	—	0,339
38,3	66,23	56,68	46	0,422	—	0,322
44,8	78	65,81	53	0,426	—	0,315
44,8	73,7	67,87	57	0,392	—	0,355
38,3	58,1	56,1	48	0,341	—	0,336
38,3	58,1	55,25	47	0,341	—	0,315

estesa e rappresentativa di caldaie marine subverticali, così per le piastre tubiere dei collettori superiori ed inferiori come per quelle dei surriscaldatori. Per ciascun caso si sono calcolati e sono registrati nella tabella stessa i valori dei moduli di efficienza longitudinale e diagonale, quest'ultimo secondo le norme dell'Associazione alsaziana e del codice americano.

Questi ultimi sono segnati soltanto quando vanno presi in considerazione, e cioè quando risultano inferiori al modulo longitudinale. Come si vede il caso si presenta con frequenza notevole e bene spesso il modulo di efficienza diagonale è di molto inferiore a quello longitudinale.

***

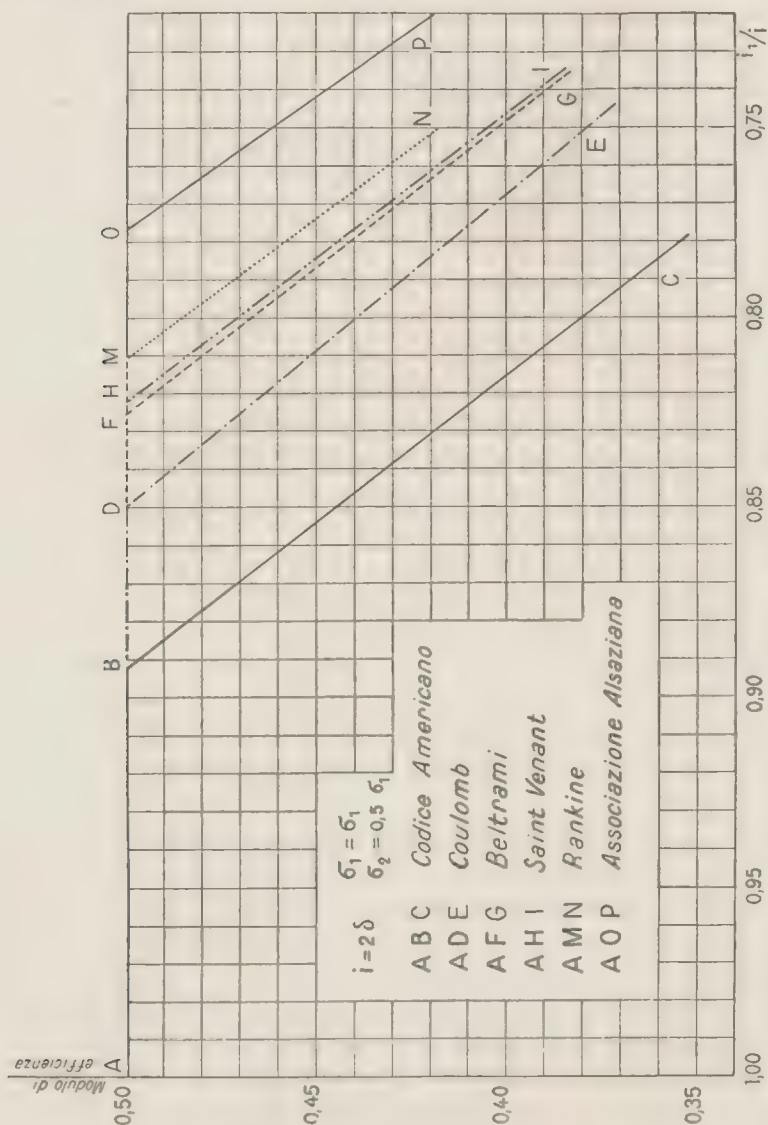
I risultati delle norme del regolamento dell'Associazione alsaziana e del codice americano sono probabilmente errati gli uni in difetto e gli altri in eccesso. Ammessa l'ipotesi della distribuzione uniforme delle tensioni nelle sezioni residue non vi è difficoltà a fare l'analisi delle tensioni stesse coi metodi usuali dell'elasticità ed a calcolare le tensioni ideali equivalenti secondo le diverse teorie. Per esempio per il caso di $i = 2\delta$ con $\sigma_2 = 0{,}5\sigma_1$ il risultato dei calcoli è riassunto nella fig. 8 che fa parte di uno studio inedito dell'ing. G. Capello antico allievo del nostro Politecnico. Essa è già abbastanza significativa; per asserire proposizioni generali converrebbe ripetere l'indagine che è piuttosto faticosa per un certo numero di condizioni probabili.

6. Fattori di concentrazione delle tensioni. — Ormai da molto tempo è di comune conoscenza che la concezione della ripartizione uniforme delle tensioni nelle sezioni più deboli delle piastre forate è del tutto inammissibile. L'opportunità di alcune indicazioni e di alcuni chiarimenti al riguardo sorge dal fatto che certi risultati di calcoli o di esperienze hanno avuto interpretazioni che mi sembrano non precise. E queste imprecisioni possono essere pericolose. Quando un fattore di concentrazione che può essere pari o superiore a 2, si assume uguale ad 1,3 è ovvio che ci si espone a valutare le tensioni locali in alcuni punti delle lamiere molto al disotto del vero. Purtroppo i dati positivi sull'argomento sono ancora incompleti.

Per via analitica si può trattare il caso di una piastra infinita nella quale esista un foro, ossia in pratica, di una piastra sufficientemente ampia con un foro di piccole dimensioni; e sono stati

studiati i casi di una piastra soggetta a tensione secondo una direzione data, o di una piastra soggetta a tensioni in due direzioni ortogonali.

$i = 2\delta$ $\sigma_1 = \sigma_1$ $\sigma_2 = 0{,}5\ \sigma_1$
ABC *Codice Americano*
ADE *Coulomb*
AFG *Beltrami*
AHI *Saint Venant*
AMN *Rankine*
AOP *Associazione Alsaziana*

Fig. 8.

In una piastra infinita la presenza di un foro non modifica il valore della tensione media in una sezione perpendicolare alla direzione della tensione e quindi si può assumere senz'altro come parametro fondamentale il valore della tensione σ_0 in una sezione non indebolita. Sono stati determinati i valori delle tensioni sopra

una sezione comunque orientata a partire dall'orlo del foro, e le conclusioni principali sono di comune conoscenza. Se la piastra è tesa in una sola direzione, la tensione in una sezione diametrale perpendicolare alla direzione nella quale la piastra è sollecitata arriva all'orlo del foro a $3\sigma_0$, ma degrada rapidamente mano a mano che ci si allontana dal foro stesso: per esempio è secondo la distanza dal centro del foro:

a distanza r	3 σ_0
$2\ r$	1,22 σ_0
$3\ r$	1,07 σ_0
$4\ r$	1,05 σ_0
$5\ r$	1,022 σ_0
$6\ r$	1,015 σ_0

e questa circostanza permette di applicare la teoria delle piastre infinite a piastre di dimensioni relativamente piccole, e quindi anche a piastre grandi con file di fori se il passo della bucatura è sufficientemente grande rispetto al diametro dei fori. Disgraziatamente non è questo il caso dei collettori delle caldaie nei quali i fori sono a distanza troppo piccola perchè da questo caso semplice si possa arrivare a conclusioni attendibili.

In una sezione diametrale parallela alla direzione della sollecitazione, all'orlo del foro si ha una tensione di compressione $\sigma_1 = - \sigma_0$. Questo è importante perchè ne segue che la presenza di due tensioni ortogonali diminuisce il fattore di concentrazione che da 3 scende a 2 se le due tensioni sono uguali; a 2,5 se una è la metà dell'altra; e quindi nelle condizioni dei collettori avrebbe valori compresi fra 2,5 e 3, ma in genere molto più prossimi a 2,5 che a 3.

Se la piastra ha larghezza finita ma il foro è piccolo il fattore di concentrazione è alquanto superiore a quello delle piastre infinite. Si può calcolare un fattore di correzione, ma il procedimento non si può estendere al caso di fori a brevi intervalli.

Per il caso delle piastre di dimensioni finite si trova spesso scritto che non è possibile arrivare alla soluzione per via analitica. A rigore questo non è vero e vi è qualche caso ancora trattabile; e poco importa che la soluzione sia ardua e laboriosa, dal momento che vi è stato chi ha fatto una volta per tutte i calcoli relativi.

Così R. C. J. Howland (*On the stresses in the neighbourhood of a circular hole in a strip under tension*, « Philosophical Transactions of the R. S. of London », Serie A, vol. 229, 1930, pagg. 49 a 86) ha trattato il caso di una striscia con un foro circolare lungo

il suo asse e soggetta a tensione secondo l'asse stesso, con un procedimento di approssimazioni successive che è valido per punti non troppo lontani dall'orlo del foro e per valori non troppo grandi ($\leq 0{,}5$) del rapporto $\lambda = \delta/a$ fra il diametro del foro e la larghezza della striscia.

In via di esempio le tensioni sulla sezione ristretta a diverse distanze r dal centro del foro, cioè per diversi valori del rapporto $\varrho = \frac{2r}{a}$, e per diversi valori di λ, espressi in termini della tensione applicata risultano quelle indicate nella tabella che segue:

$\varrho \setminus \lambda$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,1	3,03	—	—	—	—
0,2	1,23	3,14	—	—	—
0,3	1,08	1,57	3,36	—	—
0,4	1,04	1,26	1,93	3,74	—
0,5	1,03	1,16	1,47	2,30	4,32
0,6	1,02	1,11	1,28	1,75	2,75
0,7	1,01	1,07	1,17	1,48	2,04
0,8	1,01	1,05	1,07	1,28	1,61
0,9	1,00	1,01	0,96	1,08	1,22
1	0,99	0,97	0,89	0,81	0,73

La tabella che segue dà i valori della tensione all'orlo del foro per sezioni diametrali variamente inclinate:

$\theta \setminus \lambda$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0°	3,00	3,03	3,14	3,36	3,74	4,32
15°	2,73	2,74	2,85	3,03	3,32	3,72
30°	2,00	2,01	2,07	2,15	2,25	2,32
45°	1,00	1,00	1,00	0,98	0,91	0,77
60°	0,00	—0,01	—0,06	—0,15	—0,30	—0,51
75°	—0,73	—0,74	—0,82	—0,95	—1,12	—1,32
90°	—1,00	—1,03	—1,11	—1,26	—1,44	—1,58

Questi valori sono alquanto più alti di quelli provenienti da rilievi sperimentali; la variazione della tensione nelle vicinanze dell'orlo del foro è rapidissima e probabilmente i rilievi sperimentali corrispondono a raggi alquanto maggiori di quello del foro.

Successivamente il prof. Howland ha affrontato anche casi più complessi ed in particolare quello di una piastra con una fila

di fori equidistanti in numero infinito. Per questo caso si veda la sua memoria: *Stresses in a plate containing an infinite row of holes* nei « Proceedings of the Royal Society of London », Serie A, vol. 148, 1935, pagg. 471-491, la quale contiene anche diversi richiami ad altri lavori recenti su questo argomento.

Ricordiamo ancora rapidamente una memoria del prof. Filon: *The stresses in a circular ring* (« The Institution of Civil Engineers - Selected engineering papers » N. 12, 1924); una di G. B. Jeffery: *Plane stress and plane strain in bipolar coordinates* (« Phil. Trans. », A. 221, 1921, pag. 265-293) ed una di W. G. Bickley: *The distribution of stress round a circular hole in a plate* (« Phil. Trans. » A. 227, 1928, pag. 383-415), relative a problemi molto più generali, ed in parte diversi da quelli qui considerati, ma dalle quali si potrebbero attingere anche alcuni elementi di un certo interesse per questo ed altri paragrafi delle presenti note.

***

Questi risultati in gran parte sono molto recenti, e in generale poco conosciuti; in ogni modo non abbracciano tutti i casi che interessano nelle applicazioni che dobbiamo qui considerare. Per ottenere ulteriori indicazioni in casi che si possano assumere a rappresentare più o meno da vicino condizioni di applicazione si è ricorso a rilievi sperimentali; prima per mezzo di estensometri (*Preuss*, 1912-13), in seguito coi metodi fotoelastici, dell'attendibilità dei quali ci assicura la discreta concordanza fra i risultati delle esperienze e quelli dei calcoli nel caso in cui entrambi i metodi sono applicabili (piastra con piccolo foro unico; striscia rettangolare forata).

E qui è bene rivolgere l'attenzione ad alcuni risultati di queste esperienze. Il caso di una barretta soggetta a tensione semplice come uno dei più facilmente trattabili è stato oggetto di molte esperienze. I risultati sono abbastanza concordanti. In una piastra di dimensioni finite la presenza del foro naturalmente modifica il valore della tensione media nella sezione ridotta, e quindi si possono considerare due rapporti distinti delle tensioni locali: alla tensione media nella sezione minima e alla tensione media nelle sezioni non indebolite. Come fattore di concentrazione si usa assumere il rapporto della tensione massima *alla tensione media nella sezione più debole*, la quale ovviamente può essere molto più alta che non la tensione applicata.

È questa una prima ragione per la quale vediamo abbassarsi il valore del fattore di concentrazione. Per esempio riferendoci alle determinazioni dell'Howland sopra ricordate in una sbarra con un foro di diametro uguale a mezza larghezza la tensione massima è uguale a 4,32 volte la tensione applicata, e quindi a 2,16 e non 3 volte la tensione media nella sezione ristretta. Però per tale

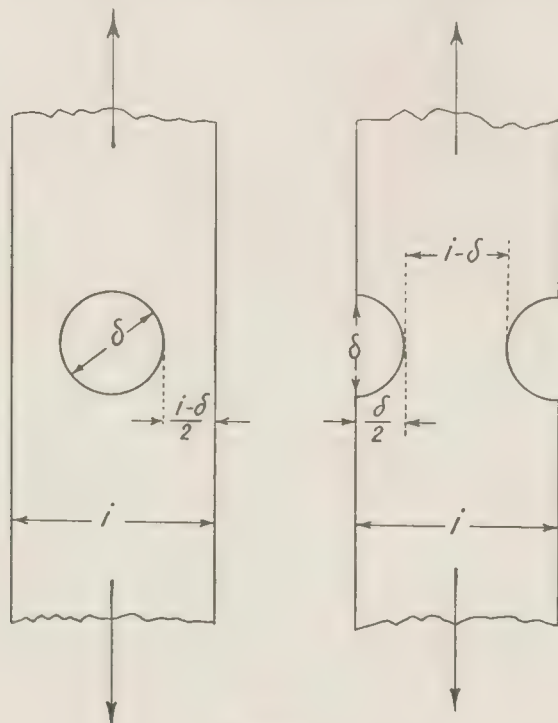



Fig. 9.

abbassamento vi è anche un'altra ragione che si intuisce facilmente anche se ardua da esprimere in forma analitica ed è la diversa distribuzione delle tensioni che emerge dalle variate costrizioni di forma. L'importanza di questo fattore appare nel modo più perspicuo se si pongono a confronto i risultati ottenuti per mezzo di indagini fotoelastiche su due serie di barrette, soggette a tensione semplice secondo il loro asse a pari valori di sforzi totali e di sezioni residue ed uguali per ogni verso salvo che in una serie la barretta presenta un foro circolare al centro e nell'altra due fori semicircolari agli orli, secondo lo schizzo della fig. 9.

Come è naturale nel secondo caso le punte del diagramma delle tensioni sono assai meno alte ed aguzze che nel primo.

Le esperienze in questi casi semplici sono abbastanza facili e quindi abbiamo a disposizione un materiale abbondante che ci fornisce alcune indicazioni sul comportamento delle piastre forate quando il diametro del foro non è più piccolo in confronto della larghezza della piastra e sulla dipendenza del fattore di concentrazione dal rapporto fra la sezione ridotta e la sezione primitiva.

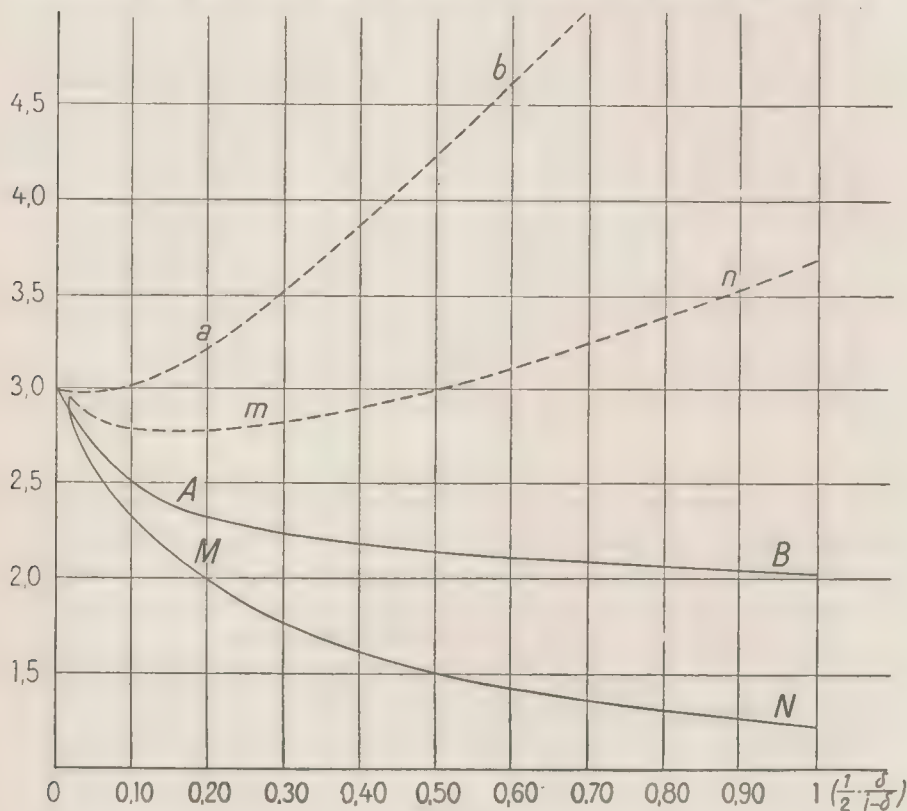



Fig. 10.

Queste indicazioni sono compendiate nella fig. 10 riprodotta, rielaborandola in parte, da una nota di M. M. Frocht (« Journal of applied Mechanics », giugno 1935, A. 67). Esse meritano attenta considerazione. La linea *AB* rappresenta il modo di variare del fattore di concentrazione, inteso come sopra è detto, al variare della sezione residua nel caso del foro centrale; la linea *MN* le stesse cose per il caso dei fori semicircolari agli orli. Salta agli occhi il declinare molto più rapido del fattore di concentrazione nel secondo caso in confronto col primo. Per sezioni residue molto piccole nel primo caso si scende a valori dell'ordine di 2 e nel

secondo dell'ordine di 1,20; non si dimentichi però che questi numeri si riferiscono a sezioni residue molto più piccole di quel che si riscontrano nei collettori.

Beninteso il caso dei collettori è più o meno paragonabile a quello delle barrette del primo tipo e non a quello del secondo tipo; nelle piastre tubiere i fori sono praticati nel pieno della lamiera e non lungo i suoi canti, e quindi non si hanno le possibilità di deformazione inerenti al secondo tipo.

Non è inutile considerare anche i rapporti fra la tensione massima all'orlo del foro e quella media nella lamiera piena; in sostanza i valori del fattore di concentrazione diviso per il così detto rendimento del giunto; essi sono forniti dalle linee *ab mn* segnate a tratti nella stessa fig. 10.

Si ricordi ancora che queste esperienze si riferiscono al caso di trazione in una sola direzione. Se si hanno tensioni in due direzioni ortogonali e sono entrambe del medesimo segno si può naturalmente contare su qualche ulteriore riduzione del fattore di concentrazione.

***

Un altro buon riassunto dei risultati sperimentali relativi al caso della sbarra soggetta a tensione semplice nella quale è praticato un foro, per diversi valori del diametro del foro è contenuto in una discussione di A. M. Wahl su di una memoria di Taylor e Waters sull'effetto delle aperture nei recipienti soggetti a pressione (« Trans. of the Am. Soc. of Mech. Eng. » APM. 56. 3, 1934, vol. 56, pag. 133). In una figura analoga alla nostra fig. 10 sono compendiati i risultati delle esperienze di Preuss, Hennig, Waal e Beeuwkes, Coker e sono messi a confronto coi risultati teorici dell'Howland dei quali si è fatto cenno più sopra.

La memoria è pure interessante ma meno direttamente connessa con quanto andiamo qui esponendo.

***

In tutte le indicazioni che precedono si presume senz'altro di trovarsi innanzi ad un sistema di tensioni bidimensionale. Esperienze molto recenti intorno alle quali non si hanno ancora notizie dettagliate [1] indicherebbero una dipendenza dalla terza dimen-

---

[1] R. W. Vose, *An application of the Interferometer Strain Gage in Photoelasticity.* « Journal of applied Mechanics », vol. 2°, N. 3, marzo 1935, pp. 99-102.

sione nel caso dei fori di diametro molto piccolo; la distribuzione delle tensioni varierebbe al variare del rapporto δ/s del diametro del foro allo spessore della piastra e precisamente il fattore di concentrazione diminuirebbe al diminuire di questo rapporto. R. W. Vose pubblica il diagramma riprodotto nella fig. 11 che rappresenta esperienze fatte dal sig. Maeser all'Istituto Tecnologico del Massachussetts di Cambridge, Mass.

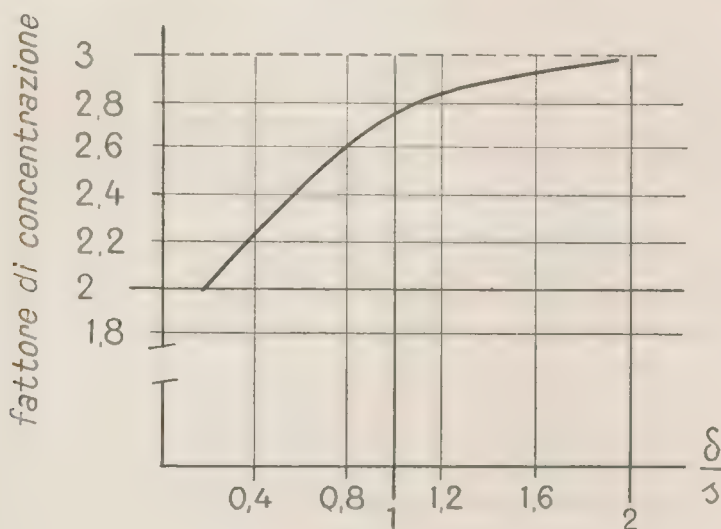



Fig. 11.

L'effetto è già sensibile per $\delta = s$ e quindi può interessare per il caso delle caldaie a piccoli tubi, ma fortunatamente è nel senso di diminuire le sollecitazioni in confronto di quanto abitualmente si suppone.

***

Si ha notizia di alcune esperienze eseguite, sempre coi metodi fotoelastici su modelli intesi a rappresentare le condizioni delle piastre tubiere dei collettori di caldaie a tubi d'acqua in due memorie pubblicate negli Atti del 1930 e del 1931 della Association Technique Maritime et Aéronautique, e precisamente:

R. Théry, *Note sur le dimensionement des collecteurs etc.* vol. 34, pag. 451.

A. Fade, *Note au sujet de la fatigue des plaques percées de trous*. Vol. 35, pag. 151.

Le esperienze sono state promosse da ingegneri del genio marittimo francese; effettivamente sono state eseguite nel laboratorio della «École Nationale des Ponts et Chaussées»; ma i risultati lasciano il lettore piuttosto perplesso. Tuttavia sia detto ben chiaro che la esposizione, che ci sembra necessaria, di questi nostri scrupoli non deve intendersi in alcuna misura meno che riguardosa verso gli autori di queste ricerche. Ogni opera di pioniere implica inevitabilmente una fase di incertezze.

Nella nota del Théry si accenna ad un solo modello provato a tensione semplice e a tensione in due direzioni ortogonali. Per semplificare le esperienze si è prima constatato sperimentando successivamente a trazione ed a compressione semplice che la distribuzione delle tensioni non cambiava cambiando il segno delle stesse; e poi le esperienze con tensioni in due direzioni ortogonali sono state eseguite a compressione.

Viene indicato un fattore di concentrazione di 1,3, tanto nel caso di sforzi esterni in una direzione quanto in due. Se non che non viene fornita alcuna indicazione circa la forma del modello, non si sa quale sia il suo contorno, onde mentre non si eleva alcun dubbio sulla perfetta esecuzione delle esperienze sul modello assoggettato a prove, si può fortemente dubitare che il modello stesso rappresenti uno stato di cose paragonabile a quello che si genera in una piastra tubiera. Ed in ogni caso il valore del coefficiente 1,3 può riferirsi ad un caso particolare, ma non può certamente aver valore generale, per valori diversi dei passi dei tubi.

Anche il fatto che il fattore di concentrazione sarebbe 1,3 tanto pel sistema semplice quanto pel sistema doppio di tensioni è abbastanza singolare ed è motivo di perplessità. La distribuzione delle tensioni dovrebbe essere tanto modificata da render nulla la tensione negativa all'orlo del foro in direzione parallela alle forze esterne applicate.

Nella memoria del Fade è data notizia di altre esperienze, appartenenti tuttavia alla stessa serie e condotte nello stesso modo. Invece di un modello si tratta ora di cinque, ma nelle indicazioni fornite vi è la stessa reticenza su punti fondamentali, e quindi i risultati sono soggetti agli stessi dubbi.

Il Fade fornisce i valori dei rapporti delle tensioni massime alla tensione media nella sezione non indebolita, ma il fattore di concentrazione conforme alla definizione qui accettata per qualcuno dei modelli si deduce facilmente; non per tutti perchè quando la distanza fra le file dei fori scende al disotto di un certo limite

la tensione massima non si ha più nella sezione longitudinale ma in una sezione obliqua.

Poniamo:

δ diametro del foro;

i_1 intervallo fra gli assi dei fori nelle file longitudinali;

i_2 intervallo fra gli assi dei fori nelle file trasversali (e quindi il doppio della distanza delle file);

$$\varepsilon_1 = \frac{i_1 - \delta}{i_1}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{i_2 - \delta}{i_2}$$

σ_1 tensione media perpendicolare alle file longitudinali, calcolata sulla sezione piena;

σ_2 la stessa perpendicolare alle file trasversali;

σ_{max} tensione massima nella parete rilevata coi metodi fotoelastici;

$$\alpha = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_1}$$

k fattore di concentrazione uguale ad $\alpha\ \varepsilon_1$.

Per una prima serie di esperienze intesa a mettere in evidenza l'influenza del passo longitudinale il Fade dà questi numeri:

	Piastra 1	Piastra 2	Piastra 3
δ	30,5	30,5	30,5
i_1	60,5	49,85	42,5
i_2	84	84	84
ε_1	0,495	0,388	0,294
ε_2	0,637	0,637	0,637
σ_1	3,54	2,77	2,05
σ_2	1,67	1,28	0,92
$\sigma_1 : \sigma_2$	2,12	2,16	2,23
σ_{max}	10,1	9,1	7,5
$\alpha = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_1}$	2,86	3,28	3,65
$k = \alpha\varepsilon_1$	1,42	1,27	1,07

Secondo queste esperienze al diminuire del passo longitudinale il fattore di concentrazione diminuisce, e il diagramma delle tensioni sulla sezione re idua si spiana.

La seconda serie delle esperienze era intesa a mettere in evidenza l'influenza del passo trasversale.

I risultati sono i seguenti confrontabili con quelli della piastra n. 2:

	Piastra 2	Piastra 4	Piastra 5
δ	30,5	30,5	30,5
i_1	49,85	49,85	49,85
i_2	84	67	49,85
ε_1	0,388	0,388	0,388
ε_2	0,637	0,545	0,388
σ_1	2,77	2,77	2,77
σ_2	1,28	1,28	1,28
$\sigma_1 : \sigma_2$	2,16	2,16	2,16
σ_{max}	9,1	12,2	24
$a = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_1}$	3,28	4,4	8,65

È manifesto che sulla questione è desiderabile che vengano ottenuti nuovi dati sperimentali, forniti con tutte le indicazioni necessarie per interpretarli esattamente. In attesa di questi la prudenza si impone e non sembra possibile introdurre nei calcoli i bassissimi valori ora ricordati dei fattori di concentrazione. (Qualche dato ulteriore è stato pubblicato di recente, dopo che queste note erano state redatte e ne parliamo un poco più innanzi).

***

Alcuni commenti intorno alle note del Théry e del Fade sono contenuti in una memoria degli ingegneri V. Kammerer e G. Parmentier pubblicata nel « Bulletin des Ass. Franc. des Propr. d'app. à vapeur » del gennaio 1931 (*Évaluation des efforts qui prennent naissance dans les plaques à tubes des chaudières aquatubulaires*). Dato che la nota del Fade è stata presentata al Congresso dell'A. T. M. A. nel giugno 1931, è ovvio che i due ingegneri di Mulhouse dovevano avere sott'occhio un altro testo, ed in questo i risultati dovevano essere presentati in altro modo; si direbbe anche che fra le due versioni vi debbano essere delle sconcordanze, in modo che è un po' difficile trarre delle conclusioni. Il Kammerer fa riferimento anche ad una serie di esperienze di cui non vi è traccia nell'ultima nota e dalla quale risulterebbe una conclusione del tutto opposta ad una del Théry, e cioè un forte attenuamento del fattore di concentrazione pel caso della doppia tensione in confronto della semplice.

Kammerer e Parmentier non dànno un gran peso a queste concentrazioni di tensioni e se la cavano alla svelta con un'argomentazione che a me sembra esser giusta in molti casi ma non sempre e le eccezioni alla quale potrebbero divenire più numerose con la tendenza a limitare le pressioni di mandrinatura. Ma il luogo più opportuno a discutere di questo è il paragrafo 8 che segue più innanzi.

7. Le formule del Théry e l'abaco del Fade. — A conclusione della sua memoria sopra citata il Théry ricava alcune formule per l'assegnazione degli spessori. In relazione a queste noi vediamo qualche obbiezione. Egli ha in vista caldaie a pressioni intorno alle 40 atmosfere. Intanto per queste pressioni non ci sembra che valga molto la pena di impiegare le formule relative agli involucri a parete grossa, che risultano un poco più complicate, senza apprezzabile beneficio.

In secondo luogo, come abbiamo detto, non ci sembra che l'adozione del criterio del Coulomb sia la soluzione migliore. (Anche il Théry mostra qualche scrupolo al riguardo quando considera l'effetto dei momenti flettenti dovuti al peso del sistema).

Queste tuttavia in relazione ai casi considerati dal Théry sono obbiezioni più formali che altro. Ma ve ne sono delle altre sostanziali.

Posto:

σ_0 = carico di sicurezza,

σ_e = carico al limite di elasticità alle temperature di esercizio

il Théry pone per le lamiere piene:

$$\frac{2r_e^2\,(p_i - p_e)}{r_e^2 - r_i^2} < \sigma_0$$

con

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_e}{1{,}3}\,.$$

Ma questa deve essere una formola data semplicemente per confronto, per lamiere senza fori di alcun genere, nemmeno per chiodi.

Per le piastre tubolari il Théry pone

$$\frac{2r_e^2\,(p_i - p_e)}{r_e^2 - r_i^2}\;\frac{i}{i - (\delta + 0{,}5)} < \sigma_0$$

con

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_e}{1{,}3 \times 1{,}3} - 2{,}3$$

$$= \frac{\sigma_e}{1{,}7} - 2{,}3\,.$$

In queste formule δ è il diametro esterno del tubo e $\delta + 0,5$ è assunto come il diametro del foro. Il carico di sicurezza σ_0 è ricavato da σ_e dividendo per un coefficiente di sicurezza 1,3 e poi ancora una volta per 1,3 assunto come fattore di concentrazione e questo valore come abbiamo detto ci sembra inadeguato. Agli effetti pratici molte cose sono aggiustate da una ulteriore correzione empirica per la quale il valore $\frac{\sigma_e}{1,7}$ è ancora diminuito di 2,3 Kg. per mmq. Con questa correzione il Théry si propone di coprire in blocco gli effetti delle sollecitazioni secondarie (peso, tormento per le mandrinature, sollecitazioni termiche). È una correzione grossa; a temperatura alta σ_0 diventa inferiore e non poco a $\frac{1}{2}\sigma_e$, e quindi errori non lievi possono venire compensati o mascherati; ma il rigore della deduzione e la generalità delle conclusioni rimangono piuttosto compromessi.

***

Forse non è male ricordare che analoghe preoccupazioni hanno già dato luogo a disposizioni regolamentari. In diversi regolamenti fra cui quello italiano per le piastre tubiere si calcola un modulo di efficienza fittizio ridotto attribuendo al foro un diametro maggiore del vero.

Secondo il nostro regolamento nel calcolo di $\frac{i - \delta}{i}$ in luogo di δ si pone $\delta + 2\gamma$ dove

$$\gamma = \frac{\delta_e}{3,4}\left\{1 - \left(\frac{\delta_i}{\delta_e}\right)^2\right\}$$

dove δ_i δ_e sono i diametri interno ed esterno del tubo.

Dalla memoria del Théry rileviamo che la Società alsaziana di costruzioni meccaniche usa invece un aumento costante di 2 mm.

Come già abbiamo accennato l'associazione alsaziana è anche più radicale e riduce il modulo di efficienza a 0,8 di quello calcolato.

***

Il Fade come abbiamo detto considera un fattore α che rappresenta direttamente il rapporto della tensione massima alla tensione media nella sezione intatta. Con cinque valori sperimen-

tali di α e sulla base di alcune ipotesi il Fade ha costruito un abaco che dovrebbe dare i valori approssimativi di α per tutti i valori praticamente interessanti della distanza delle file longitudinali e trasversali dei tubi.

Non occorre che ripetiamo i dubbi già espressi sull'applicabilità dei valori di α delle esperienze al caso dei collettori delle caldaie.

A parte ciò anche sulla costruzione dell'abaco notevoli obbiezioni si affacciano spontanee alla riflessione del lettore.

Rileva lo stesso Fade che anche con l'indagine fotoelastica si trova che la tensione massima si produce all'orlo del foro nelle sezioni longitudinali se il passo trasversale è grande; ma in sezioni oblique se il passo trasversale è minore; nelle concezioni elementari come per esempio quella tradotta nell'abaco del codice americano ciò si manifesta con appariscenti singolarità geometriche. Probabilmente quella serie di cuspidi nel fascio delle linee a efficienza costante è dovuta al fatto che la trattazione è piuttosto primitiva; ma anche nella realtà sembra probabile che si abbiano due regioni distinte nelle quali dominano due leggi diverse di variazione della tensione massima. Anche per questa ragione non sembra che quell'abaco fornisca dei valori di cui ci si possa fidare per il calcolo dei collettori.

Da una memoria recentissima dell'ing. Legendre (1) risulta che queste indagini sono state ripetute e continuate in parte al laboratorio della «École Nationale des Ponts et Chaussées» ed in parte allo stabilimento di Indret della Marina francese. Non vi è nessun riferimento a memorie su queste esperienze onde sembra che i risultati originali non siano di pubblica ragione; e d'altronde la memoria del Legendre non contiene sulle esperienze dati sufficienti da permetterne una discussione; della quale il bisogno sarebbe abbastanza sentito. In ogni modo si tratta di una raccolta molto interessante ed istruttiva di dati esposti in grafici ed in tabelle. Sono messe in evidenza discrepanze purtroppo molto cospicue di dati sperimentali, che l'autore cerca di coordinare in un modo che sembra piuttosto arbitrario. E sono messe pure in evidenza escursioni estesissime dei rapporti delle tensioni massime alle medie secondo i diversi rapporti dei passi al diametro dei fori (questi rapporti di tensioni fluttuano da circa 1,3 a 5,6 nelle

(1) R. Legendre, *Fatigue des plaques à tubes des collecteurs de chaudière.* « Bulletin A. T. M. A. », N. 42, session de 1938, pp. 345-359.

conclusioni del Legendre, e fino a 7,3 in quelli che il Legendre stesso chiama risultati greggi) che mostrano la necessità di una più completa analisi generale del fenomeno. Ma ormai questo dovrà fare oggetto di studi ulteriori.

Di altre esperienze è dato conto in un'ampia memoria del prof. Siebel e dell'ing. Kopf [1].

8. Tensioni dipendenti dall'inserzione dei tubi nelle piastre. — Di questo argomento, faremo soltanto un rapido cenno perchè una trattazione completa non è compatibile col carattere e con l'ampiezza di queste note, e d'altronde non siamo ancora in possesso di conclusioni molto precise; prima di arrivare a queste occorrono certamente ancora indagini più minute e complete.

Qualche discussione al riguardo è contenuta nelle due note già citate del Théry e del Kammerer; qualche altra notizia in una nota di A. Lieberherr: *Sollicitation de la tôle des corps des chaudières* (« Chaleur et Industrie », ottobre 1934, pagg. 269-274 oppure « Rivista tecnica Sulzer », 1933, N. 3).

In queste note sono contenuti anche i richiami al limitato materiale sperimentale disponibile (Siebel, Eichelberg). In italiano ricordiamo una rassegna già un po' vecchia dell'ing. Foffano: *Sulla mandrinatura dei tubi ad alta pressione* (« Il Calore », giugno 1928, pagg. 83-86).

Quando si riflette su questo argomento si vede subito che occorre considerare due periodi completamente distinti: quello che succede mentre si opera la mandrinatura e lo stato elastico che rimane a mandrinatura finita.

Durante l'operazione i rulli del mandrino esercitano una pressione sulla parete interna del tubo. Il tubo si dilata prima fino a combaciare con la superficie interna del foro e quindi si deforma ulteriormente mentre i rulli continuano a premere su di esso. E così attraverso lo spessore del tubo i rulli esercitano indirettamente sul metallo della piastra una pressione che può essere molto importante. Sotto questa pressione il cerchio di contatto fra tubo e piastra e in misura progressivamente decrescente ogni cerchio concentrico tende a dilatarsi e quindi abbiamo tensioni radiali negative, tensioni circonferenziali positive.

Su qualche schema che più o meno fedelmente rappresenta la realtà si possono anche impostare dei calcoli, ma questi natu-

---

[1] Siebel e Kopf, *Beanspruchung in gelochten Platten*. « Forschungsheft » 369. Berlino 1934.

ralmente presumono nota la pressione applicata alla parete del foro che dipende da fattori esterni ed è controllabile soltanto fino ad un certo punto. In ogni modo conviene rilevare che il rapporto fra le pressioni radiali e le tensioni circonferenziali è assai diverso da quello che si può trovare nei casi ordinari dei tubi a parete grossa e che queste pressioni hanno sullo stato di sollecitazione della parete una importanza notevole.

La parete del tubo è necessariamente soggetta a deformazioni permanenti. Rimossa l'azione del mandrino il tubo continua quindi ad esercitare una pressione sulla parete della piastra. Ma per ciò che riguarda quest'ultima si possono presentare due casi distinti. Può accadere che la sollecitazione sul materiale della piastra durante la mandrinatura non abbia in alcun punto ecceduto il limite di elasticità. Lo stato elastico della piastra è quello che dipende dalla pressione che il tubo esercita sulla superficie dell'orificio; ma molto spesso accade che durante la mandrinatura il limite elastico è superato anche nella piastra in una corona circolare adiacente al foro. Allora anche questa corona è soggetta a deformazioni permanenti, che rimangono dopo rimosso il mandrino. Al di là del circolo esterno che limita questa corona le deformazioni tendono invece ad annullarsi. Si hanno quindi azioni reciproche fra le due parti delle piastre di qua e di là da quel circolo e conseguentemente tensioni residue; quelle circonferenziali sono negative nella zona adiacente al foro, positive in quella più lontana.

Vi sono alcune trattazioni analitiche ed alcune ricerche sperimentali su questi complessi fenomeni. I documenti che finora abbiamo potuto raccogliere non sembrano giustificare deduzioni quantitative di carattere generale. In particolare si trova indicato che le tensioni negative circonferenziali nelle adiacenze del foro compensano completamente le concentrazioni locali di tensione, di modo che per effetto ereditario della mandrinatura le tensioni massime non si avrebbero all'orlo dei fori ma ad una certa distanza dall'orlo stesso nella sezione più ridotta. Tali deduzioni non appaiono del tutto convincenti.

***

Troviamo qua e là alcune conclusioni numeriche sull'effetto della mandrinatura.

Il Théry nella memoria già citata, riferendosi alla nota dell'ing. Foffano e rielaborando i suoi calcoli cerca anzitutto di arrivare al valore della pressione che il tubo mandrinato esercita

sulle pareti del foro. Ma bisogna supporre che il tubo è cieco e rettilineo, attribuire un valore al coefficiente di attrito, ammettere che la resistenza d'attrito bilancia esattamente la forza che tende a sfilare il tubo; sono numerose le posizioni arbitrarie di cui qualcuna molto discorde dal vero, e non meno numerose le circostanze da cui si prescinde.

Giunto al valore della pressione che si esercita sulle pareti del foro egli isola nella piastra una corona circolare compresa fra il foro ed un cerchio concentrico tangente al foro più prossimo e la tratta come un tubo a parete grossa. Verrebbero fuori nelle varie condizioni di caldaie esistenti tensioni di 0,84 a 2,72 Kg. per mmq.; ma sul carattere di queste tensioni non è fornita alcuna indicazione. Da rilievi fatti allo Stabilimento di Indret della marina francese verrebbero confermati valori dell'ordine di 2 Kg. per mmq.

Kammerer e Parmentier si riferiscono alle esperienze di Siebel e ne deducono che in ogni caso all'orlo del foro si hanno compressioni che bilanciano le sovratensioni prodotte dalla presenza del foro; ma più lontano dal foro tensioni che aumentano di 4 a 6 Kg. per mmq. la sollecitazione prodotta dalla pressione del vapore.

Ora le esperienze del Siebel sono state eseguite su delle rosette isolate dello spessore di 30 mm. diametro interno 75 mm.; diametro esterno 150 mm. in una serie e 225 mm. in un'altra. Per mezzo di un mandrino i fori si allargavano di mm. 0,5, 1,2 e con procedimenti indiretti si calcolavano le tensioni, e se ne tracciavano i diagrammi. Che questi diagrammi di tensioni siano puramente e semplicemente applicabili alle piastre tubiere delle caldaie sembra meritare discussione e riserve.

Lieberherr nella sua memoria dichiara di volere giustificare le conclusioni sommariamente esposte nel rapporto n. 213 del secondo congresso mondiale dell'energia (Berlino). Per quanto riguarda le tensioni di mandrinatura esse derivano da ricerche teoriche e da esperienze eseguite dal prof. Eichelberg per conto della ditta Sulzer. Ma anche l'esposizione del Lieberherr è estremamente succinta e non sembra fornire elementi sufficienti per discutere le conclusioni. In ogni modo è questo un lato del problema che richiede ulteriori indagini.

Secondo Lieberherr l'eccesso di tensione prodotto insieme dalla presenza dei fori e dalla mandrinatura sarebbe di 0,40 a 0,55 della tensione ricavata dalle formule ordinarie; ma questi numeri derivano proprio da quella parte della trattazione su cui si possono elevare maggiori discussioni.

***

Mi sembra che parecchi studiosi considerando quello che succede all'inserzione dei tubi nelle loro piastre omettano di tener conto di una circostanza che può avere qualche importanza. Da un lato essi considerano e cercano di valutare le tensioni a cui la piastra è soggetta durante la mandrinatura e le tensioni residue che possono sussistere a mandrinatura effettuata. Per un altro verso molti hanno considerato la resistenza allo sfilamento dei tubi ed i risultati di esperienze e studi sono ormai consolidati in dettagli di costruzione universalmente conosciuti. Quello che in generale non si dice è che se in esercizio si hanno delle forze che presentano secondo l'asse di un tubo una componente che tende a sfilarlo e che è comunque equilibrata sia dall'attrito fra il tubo e la superficie interna del foro sia da spalleggiamenti appositamente creati deformando l'estremità del tubo, alla superficie del foro è applicata la reazione a tale componente, ed anche da questa possono derivare pel materiale della piastra tensioni non facilmente valutabili, ma alle quali non si può attribuire a priori una importanza trascurabile.

9. Sollecitazioni termiche. — Come già si è accennato di sollecitazioni termiche se ne possono avere di origine diversa. Intanto la dissimmetria nella distribuzione della temperatura in un involucro di struttura dissimmetrica ed esposto dentro e fuori a fluidi diversi e a temperature diverse in modo che le temperature superficiali non possono essere costanti è già motivo di tensioni, ed altre se ne potrebbero mettere in evidenza, forse di importanza non grandissima ma tutte ribelli al calcolo di modo che appare molto ottimista l'idea che sia lecito ridurre prossimo all'unità il coefficiente di sicurezza perchè nei calcoli non si è trascurato alcun elemento di importanza apprezzabile.

Secondo i tipi e le disposizioni costruttive si avranno o no reazioni di tubi di cui è ostacolato l'allungamento.

Ma la sollecitazione termica principale è ritenuta quella dipendente da un flusso termico attraverso la parete.

Per avere un'idea delle sollecitazioni che ne possono nascere in generale, si vedono applicate le formule relative agli involucri cilindrici continui e di spessore uniforme affacciati ad un ambiente caldo con la superficie esterna e ad uno a temperatura più bassa con la superficie interna e per fare dei calcoli sbrigativi non è

possibile fare meglio di così. Ma almeno bisogna osservare fino a che punto questo schema aderisca alla realtà.

La piastra tubiera non è soltanto esposta da una parte ai gas della combustione e dall'altra all'acqua contenuta in caldaia; ma i tubi che l'attraversano sono percorsi dalla miscela di acqua e di vapore. Schematicamente possiamo pensare che il flusso termico che penetra per la superficie esterna (fig. 12) si avvia in

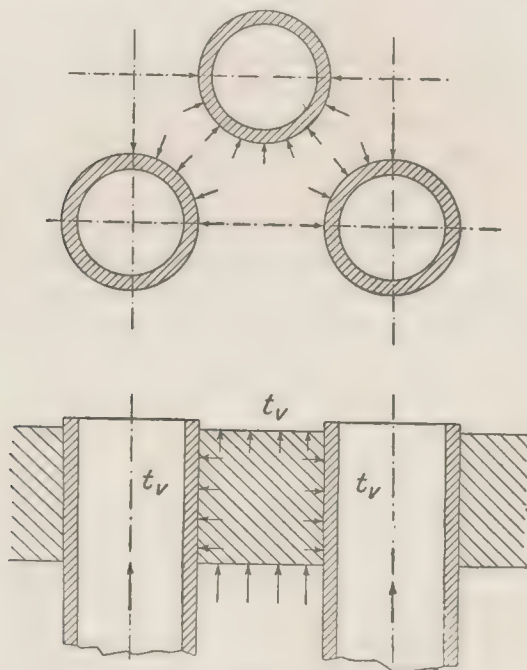



Fig. 12.

parte alla superficie interna, in parte alla superficie dei tubi; e questa può essere anche più estesa della superficie lambita dall'acqua. Tale carattere del flusso termico in confronto di quello supposto altera profondamente la distribuzione delle temperature e delle tensioni nella piastra. La temperatura non è più funzione solo del raggio; la differenza di temperatura fra la superficie interna e l'esterna è presumibilmente diminuita ma in che modo varia la distribuzione delle tensioni non è possibile prevedere senza un'indagine che non può essere facile.

Alle consuete formule relative alle sollecitazioni termiche va attribuita quindi un'approssimazione molto grossolana e non è possibile farne la base di analisi e discussioni. Possiamo ritenere

all'ingrosso la nozione di una certa tensione massima per grado di differenza di temperatura fra le due faccie. Il noto valore di prima approssimazione di 0,18 Kg. per mmq. presumibilmente segnala ancora un ordine di grandezza, ma sembra dover essere in eccesso sui valori probabili.

***

Mette conto di rilevare la situazione abbastanza singolare che verrà a crearsi nel caso che sulla superficie interna del collettore si formassero delle incrostazioni. L'aumentata resistenza alla trasmissione diminuirà certamente il flusso del calore verso l'acqua; ma il flusso medesimo trova sfogo verso le superfici laterali, onde l'aumento della temperatura media del metallo sarà fortunatamente minore di quanto a prima vista si potrebbe credere.

***

I calcoli che abitualmente si impostano su questo argomento dànno luogo a qualche altra osservazione.

Per ricavare un ordine di grandezza delle probabili tensioni termiche Kammerer e Parmentier assumono un flusso di calore attraverso la parete di 40.000 calorie per ora e per mq. Ad un tale flusso per una piastra di 50 mm. corrisponderebbe una differenza di temperatura di 40° ed una tensione termica massima di circa 6 Kg. per mmq.

Ora Kammerer e Parmentier hanno in mente caldaie fisse e noi pensiamo piuttosto a caldaie marine e i due casi sono diversi. Ma nell'uno e nell'altro anche senza sistemi di protezione 40.000 calorie di flusso orario attraverso la superficie dei collettori sembrano troppe. Intanto dal lato esterno, anche senza schermature artificiali non mancano in generale, in modo molto diverso secondo i tipi di caldaie, protezioni almeno parziali della superficie del collettore dovute ora alla disposizione dei tubi, ora all'andamento della corrente dei prodotti della combustione. E d'altro canto bisogna por mente a quello che succede nell'interno del collettore ove la trasformazione di vapore in acqua è un fenomeno secondario. Abbiamo bensì acqua in istato di considerevole agitazione per l'afflusso della miscela proveniente dai tubi evaporatori, ma in ogni modo il coefficiente di trasmissione parete-acqua non è certamente dell'ordine di quello che si ha nei tubi. E quindi resistenza notevole alla trasmissione del calore e limitazione del flusso.

D'altra parte ciò importa delle conseguenze che inficiano notevolmente i calcoli di altri studiosi. Si vede qualche volta assunta la temperatura della parete interna come uguale a quella del fluido. È fuor di dubbio che vi è una differenza finita e non piccola; ma sull'ordine di grandezza è impossibile dare indicazioni generali perchè essa dipende dal flusso di calore e quindi dal disegno della caldaia e dalle sue condizioni di funzionamento. La differenza sarà naturalmente più cospicua se si tratta dei collettori dei surriscaldatori.

Queste cose vanno tenute presenti per altri effetti e cioè in quanto modificano la valutazione della temperatura massima del metallo e quindi i valori delle caratteristiche elastiche sulle quali si può fare assegnamento.

In complesso le sollecitazioni dipendenti dal flusso termico sono minori di quanto spesso si ritiene.

In via di esempio anche Kammerer e Parmentier, pure partendo dalle ipotesi che abbiamo accennate e che abbiamo detto sembrarci piuttosto pessimiste, per le caldaie fisse arrivano alla conclusione che per i corpi cilindrici del primo percorso purchè adeguatamente schermati e per quelli dei corpi cilindrici superiori successivi e dei corpi inferiori si possono aspettare sovratensioni dell'ordine di 0,5 a 1 Kg. per mmq. che non sono gran cosa.

Di altre sollecitazioni termiche quali possono dipendere da ostacolate dilatazioni nel passare da freddo a caldo, da singolarità di distribuzione delle temperature in corpi che a freddo sono in ogni parte alla stessa temperatura ed a caldo raggiungono nelle loro diverse parti temperature anche molto diverse, dalle accidentalità ed anomalie che possono intervenire durante il raggiungimento di un regime di funzionamento o nel passaggio da un regime ad un altro non è ovviamente possibile far cenno in linea generale mentre qualche caso concreto e semplice può dar luogo a ricerche interessanti.

10. Altri effetti delle alte temperature. — L'effetto più importante delle alte temperature che può in qualche caso raggiungere il materiale è la diminuzione dei valori del carico di rottura e del carico al limite di elasticità.

Si deve riconoscere che ci si trova attualmente in una fase di transizione e che gli espedienti ai quali conviene ricorrere per superarla sono diversi secondo le circostanze.

Sinora le prove correnti sulla qualità del materiale sono state fatte a freddo. Per le pressioni e le temperature generalmente

adottate fino a poco tempo fa era perfettamente legittimo introdurre nei calcoli di proporzionamento i valori ricavati da queste prove.

Ora si è cominciato a indagare l'effetto della temperatura e perchè al disopra di certi valori i menzionati carichi diminuiscono sensibilmente al crescere della temperatura si è riconosciuta la necessità di tenerne conto.

Per i bisogni correnti si è adottato il partito di presumere la probabile diminuzione. Tale è la via scelta per esempio in generale dagli enti di controllo e, nelle loro condizioni e alla data presente, non era il caso di fare diversamente. Sono state escogitate diverse formule per esprimere la legge di questa diminuzione. Sull'argomento c'è già una letteratura abbondante della quale non intendo fare qui l'esame e la critica. Il punto fondamentale a parer mio è che queste formule, necessariamente empiriche, non hanno nessun valore generale; la loro validità deve essere considerata come essenzialmente momentanea e transitoria. Per le necessità delle costruzioni meccaniche moderne è intensa e non infruttuosa la ricerca di materiali che abbiano le caratteristiche adatte al funzionamento ad alte temperature e pertanto non si possono cristallizzare i criteri costruttivi intorno a deduzioni esposte ad un rapido superamento.

D'altro canto la costruzione delle caldaie fino ad oggi ha rispettato un canone molto savio e che non sembra il caso di abbandonare. Vero è che in ogni sorta di costruzioni per molte ragioni buone e cattive ci andiamo adattando a margini di sicurezza progressivamente più ristretti, ma quello delle caldaie è un campo abbastanza delicato. Il canone a cui accenno è quello che la pressione di esercizio di una caldaia è determinata in relazione alle caratteristiche elastiche delle lamiere di cui essa è effettivamente costruita, non a caratteristiche medie delle varietà di acciaio contemplate nel progetto. Ora se noi ascendiamo a temperature alle quali il carico di rottura è molto diverso da quello a freddo se si vuole rispettare quel canone bisogna determinare direttamente il carico di rottura (o quello al limite di elasticità) di quelle lamiere di cui la caldaia è fatta e non arguirlo attraverso coefficienti poco sicuri dal valore del carico a freddo. Ciò vuol dire in sostanza che le grandi amministrazioni dello Stato e le grandi aziende costruttrici debbono introdurre sistematicamente nelle loro abitudini e nelle prescrizioni dei loro capitolati le prove di trazione a caldo come fino ad oggi hanno fatto quelle a freddo; e debbono attrezzarsi per farle, o accettare di deferirne l'esecuzione

a qualche laboratorio comune che sia in grado di farle. Ciò può sembrare un fastidio e un gravame ma, ancora una volta, è un'altra quota del prezzo che costa il progresso e l'ardimento delle costruzioni.

Parlando di effetti termici viene naturalmente fatto di chiedersi se vi siano da temere fenomeni di creeping. Alle temperature e con le tensioni che si ammettono usualmente fatti sensibili di questa natura che interessino globalmente i collettori delle caldaie non sono di comune occorrenza. Possiamo invece facilmente avere perturbazioni locali in zone limitate. Come già abbiamo detto l'esame di questi casi nei quali in zone adiacenti si realizzano i due regimi elastico e plastico è necessariamente complicato. Di qualche procedimento di approssimazione ho fatto cenno altrove. Più frequenti perturbazioni si possono avere nei collettori dei surriscaldatori.

Negli impianti evaporatori di navi da guerra i lunghi periodi ad andamenti ridotti e le frequenti alternazioni di attività e di quiete attenuano di molto i pericoli di inconvenienti per questo verso.

11. Sollecitazioni secondarie. — Come si è già accennato le sollecitazioni secondarie possono essere abbastanza numerose e qualcuna di esse può avere una certa importanza.

Le più interessanti sia perchè possono essere abbastanza elevate, sia perchè dànno luogo a trattazioni eleganti sono le tensioni di discontinuità che si producono ovunque nel profilo della linea da cui si può immaginare generato il collettore come solido di rivoluzione si ha un cambiamento di curvatura e quindi in particolare al raccordo del corpo cilindrico coi fondi, quale che sia il profilo di questi e ben inteso anche se questi sono foggiati a semicerchio.

Il problema si può trattare analiticamente se la parete dell'involucro è sottile e dei risultati dei calcoli ho fatto cenno altrove.

Il calcolo, almeno approssimativo, delle tensioni dovute al peso del sistema non presenta grandi difficoltà. Nei casi più comuni queste tensioni hanno poca importanza e non fanno che modificare le componenti assiali delle tensioni dovute alla pressione interna. Queste risultano diminuite ove i momenti flettenti generano compressioni ed aumentate ove essi generano trazioni. In complesso se si calcola a tensione massima l'effetto è nullo. Se si calcola per lo sforzo di taglio massimo salvo casi eccezionali l'effetto è ancora nullo perchè la tensione assiale è l'intermedia

e quindi la differenza fra le tensioni principali estreme rimane invariata. Perchè l'effetto non appaia nullo occorre che (in collettori molto lunghi) il momento flettente generi compressioni assiali tanto elevate da prevalere sulla tensione assiale prodotta dall'azione del fluido.

Anche se si fanno i calcoli in base al potenziale elastico non sembra che ne debbano derivare differenze importanti.

Delle tensioni addizionali dovute ad anomalie di forma soltanto qualcuna si può sottoporre a calcoli approssimati. Kammerer e Parmentier ricordano a questo riguardo le notevoli ricerche del Marbec [1], che permettono il calcolo delle tensioni che emergono quando la sezione dell'involucro non è perfettamente circolare. Ma intorno a quelle che derivano da differenze di spessore nelle diverse regioni dell'involucro, alle quali non sono applicabili i procedimenti di calcolo del Marbec, da anomalie di forma dipendenti da irregolari dilatazioni particolarmente durante la messa in pressione, come ancora da irregolare distribuzione delle spinte dei tubi, ecc. sembra impossibile fare dei calcoli precisi dimodochè rimane sempre, per quanto si faccia, un complesso di tensioni inesplorate e come già dicemmo è vana la speranza enunciata del Théry di poter ridurre a nulla i margini di sicurezza da introdurre per la incertezza dei calcoli.

Tuttavia qualche calcolo si può fare e le indicazioni che se ne deducono sono molto istruttive. Chi ha qualche famigliarità con la letteratura meno recente delle caldaie ben ricorda che nei vecchi trattati francesi si usava fare con gran cura lo studio degli effetti di piccole deviazioni degli involucri dalla forma circolare; effetti considerevoli perchè se il contorno non è circolare l'involucro non si comporta più come una membrana ed è soggetto oltre che a sforzi di trazione a momenti flettenti. Queste indagini risalgono a 80 anni fa; si vedano per esempio le memorie o i trattati di Bresse, Bélanger, Collignon. Se ne trovano ancora gli echi nel libro del Carol (1910) sulla resistenza dei materiali applicata alla costruzione delle macchine che ha avuto ampia diffusione, ma ove questa parte della trattazione è resa di interpretazione molto laboriosa da grossi infortuni della riproduzione; nella letteratura recentissima si può vedere Timoshenko: *Strength of materials* (1934).

---

(1) MARBEC. *Théorie de l'equilibre d'une lame élastique soumise à une pression uniforme.* « Bulletin A. T. M. », vol. 19 (1908).

Il Bélanger considera un involucro formato da un solo foglio di lamiera sovrapponendo puramente e semplicemente i lembi, senza deviazioni locali. Egli assimila quindi questo involucro ad uno ellittico, di piccola eccentricità del quale studia la deformazione e la sollecitazione con la teoria delle travi ad arco. Lo studio diretto di una trave che ha per arco medio un'ellisse non è comodo, ma se l'eccentricità è molto piccola è lecito introdurre semplificazioni che permettano di condurre a termine i calcoli con procedimenti elementari. Non è il caso di riprodurre qui queste indagini, di cui gli originali sono facilmente accessibili. Ma alcune conclusioni meritano bene di essere ricordate. Con diametri dell'ordine di 1 metro e spessori dell'ordine di 15 mm. la tensione massima risulta *il quintuplo* di quella media corrispondente al caso di eccentricità nulla. Queste indagini ebbero al loro tempo riflessi pratici molto considerevoli e tutti sanno come si è provveduto a ridurre le eccentricità e le loro conseguenze. Ma da questo a considerare tali conseguenze come addirittura nulle manifestamente ci corre. E d'altronde le eccentricità eliminate in disegno nello stato primitivo fanno inevitabilmente la loro comparsa in esercizio per effetto della pressione e delle variazioni di temperatura.

Un'altra indicazione utile emerge dalle trattazioni ricordate. Con le proporzioni usuali si può dire senz'altro che nella deformazione dell'involucro sotto pressione l'eccentricità cresce se la pressione agisce dall'esterno, diminuisce se la pressione agisce dall'interno. Per una valutazione precisa delle tensioni occorre introdurre nella formula le dimensioni finali e non quelle primitive. Se si fanno i calcoli sulle dimensioni primitive le tensioni sono calcolate in difetto nel primo caso ed in eccesso nel secondo. Le differenze non sono piccole; arrivano al 30 % negli esempi numerici dell'autore.

Queste trattazioni dunque sono passate piuttosto di moda. E fino ad un certo punto è giusto perchè da un lato si è imparato a disegnare meglio e quindi gli effetti della eccentricità sono molto minori, dall'altro fino ad oggi si sono ovunque adottati ampii margini di sicurezza e questi coprono bene le incertezze residue. Ma se i margini si vogliono ridurre troppo allora è giocoforza esumare queste nozioni, rinfrescarne la foggia e tenerne rigoroso conto.

***

Ho accennato in principio di questo paragrafo alle tensioni di discontinuità che possono derivare in un collettore dall'unione di due falde di spessore considerevolmente diverso. Esse si co-

stringono mutuamente a dilatarsi una meno e l'altra più di quanto naturalmente farebbero, onde emergono momenti flettenti ed esaltazioni cospicue dello stato di sollecitazione. Qualche aspetto del problema è stato considerato da me in una noticina pubblicata negli *Atti* di questa Accademia (vol. 73, 1937-38) e su di

A

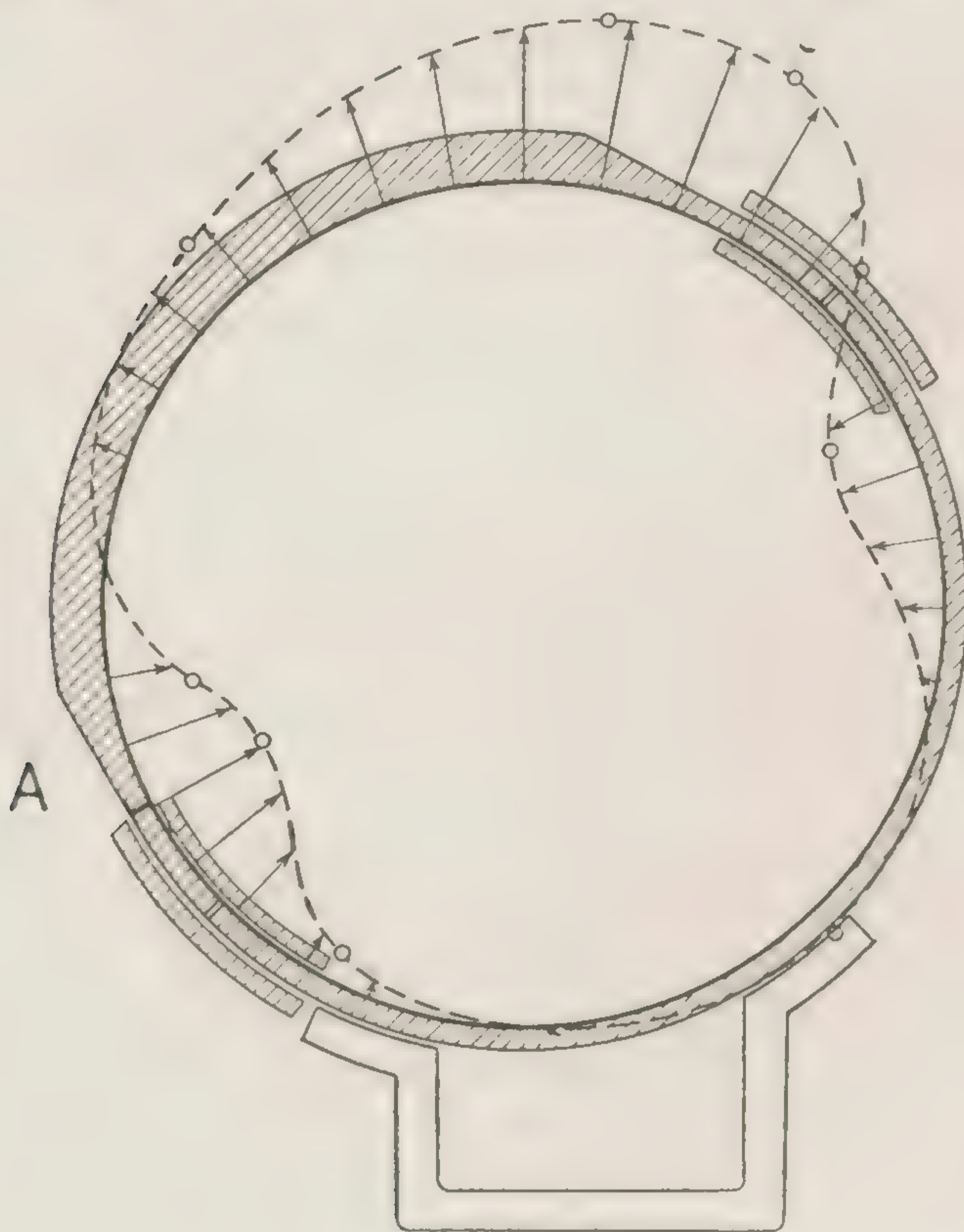



Fig. 13.

essi non occorre che io ritorni. In ogni modo questo è un altro esempio di tensioni di cui non si tien conto nei calcoli usuali.

Queste considerazioni trovano completa conferma in certe importanti serie di esperienze fatte sottoponendo a pressione idrostatica alcuni collettori e rilevando fra le altre cose le deformazioni superficiali esterne dei collettori stessi. Non entro in particolari che immagino saranno a suo tempo esposti e discussi dall'autore delle esperienze ma dagli elementi cortesemente comunicatimi riproduco (fig. 13) uno dei diagrammi di deformazione rilevati, tracciato come diagramma polare, portando in iscala

adeguatamente ingrandita i valori delle deformazioni a partire dall'arco medio dell'involucro. Come si vede per vasti archi si rilevano accorciamenti anzichè allungamenti, in dipendenza dei momenti flettenti associati agli sforzi di trazione, momenti abbastanza grandi da produrre localmente tensioni negative. Il fenomeno è in una certa misura perturbato da dissimmetrie accidentali sulle quali non è il caso di discutere qui; ma le sue linee generali sono confermate da altre serie di esperienze analoghe. Il diagramma si riferisce allo stato rilevato in corrispondenza di una pressione di 28 Kg. per cmq. Aumentata di poco la pressione si è manifestata una lacerazione nel punto indicato con *A* nel diagramma.

LUIGI D'AMELIO

DIRETTORE DELL'ISTITUTO DI MACCHINE E COSTRUZIONI DI MACCHINE
DELLA R. UNIVERSITÀ DI NAPOLI

Le acque termali come fonti di energia.

RIASSUNTO. — *Si esamina la convenienza di utilizzare le sorgenti di acqua termale a scopo di produzione di energia meccanica. Si determina l'energia ricavabile da una coppia di sorgenti, una calda e una fredda, in relazione alle loro portate e temperature, dando notizia dei risultati ottenuti dall'impianto sperimentale nell'Istituto di Macchine della R. Università di Napoli.*

In tema di economia dei combustibili nella produzione e nella utilizzazione del vapore può essere lecito trattare di macchine a vapore che utilizzano, in luogo dei combustibili stessi, l'attività endogena presente in larga misura in Italia e nell'Impero.

Impianti poderosi esistono già in Toscana alimentati da centinaia di tonnellate all'ora di vapore naturalmente prodotto a pressioni che vanno dalle 3 alle 5 atmosfere assolute e surriscaldato oltre i 200° C; di ciò si è largamente scritto e sarebbe inutile ritornare sull'argomento. Considereremo invece quel lato del problema che tratta della utilizzazione a scopo di energia motrice di manifestazioni dell'attività endogena meno imponenti, di importanza minore, quali le sorgenti di acque termali, ma che di contro presentano il vantaggio di essere molto più largamente distribuite nel territorio nazionale e dell'Impero.

Tratteremo il problema con speciale riguardo alla determinazione dell'energia meccanica che si rende disponibile in funzione delle temperature e portate delle due sorgenti, calda e fredda a disposizione ed alle macchine appositamente studiate per tale utilizzazione, riferendo sulle prove effettuate su un impianto in scala semindustriale realizzato nell'Istituto di Macchine della R. Università di Napoli.

Energia disponibile da una sorgente termale in presenza di una sorgente fredda. — La utilizzazione del calore disponibile da una sorgente termale a scopo di energia motrice viene effettuata, allo stato attuale della tecnica, mediante una macchina a vapore d'acqua o di fluidi diversi opportunamente scelti. Può dirsi che al riguardo esistono due indirizzi nettamente distinti: macchine a vapor d'acqua e macchine a vapori di fluido diverso dall'acqua.

Nel primo caso l'acqua proveniente dalla sorgente alla temperatura assoluta T_0, viene immessa in vaporizzatore privo d'aria, simile ad un comune condensatore a miscela e dove cadendo in pioggia sottile, viene parzialmente vaporizzata a spese dello stesso calore del liquido alla pressione di saturazione corrispondente ad una temperatura assoluta T_1 necessariamente inferiore alla T_0. L'acqua una volta raggiunta una temperatura prossima alla T_1 viene espulsa dal vaporizzatore. Il vapore prodotto, generalmente ad una pressione assoluta di pochi centesimi di atmosfera, aziona una comune turbina a vapore del tipo a bassa pressione e scaricato da questa ad una temperatura T_b in un condensatore a miscela mantenuto a tale pressione dall'acqua proveniente dalla sorgente fredda.

Nel caso di fluidi diversi dall'acqua lo schema viene modificato lievemente in quanto fra l'acqua e il nuovo fluido, tanto per la evaporazione che per la condensazione di esso, esiste necessariamente una superficie di separazione ed il calore viene addotto e sottratto per trasmissione attraverso parete. Il fluido intermedio va scelto fra quelli possedenti pressioni di vapor saturo notevolmente diverse fra gli estremi di temperatura dati, per quanto non è la differenza di pressione quella che conta in simili impianti. In termini diversi si può considerare che mentre nel caso di macchine a vapor d'acqua l'evaporatore ed il condensatore sono del tipo a miscela, nell'altro caso sono del tipo a superficie.

L'acqua, uscendo dal primo evaporatore alla temperatura T_u, può tanto nel primo caso che nell'altro, essere ancora utilizzata in altri evaporatori a temperatura più bassa alimentanti a loro volta una motrice opportunamente costruita, e scaricantesi nello stesso condensatore.

La quantità di calore che l'unità di peso di acqua calda può cedere all'evaporatore, supponendo il calore specifico della stessa costante ed uguale ad uno nell'intervallo 30° C-100° C generalmente considerato per simili impianti, indicando con T_0 la temperatura di ingresso e T_u quella di uscita dall'evaporatore stesso,

è evidentemente $T_0 - T_u$. La temperatura T_1 del vapor saturo prodotto e in entrambi i casi inferiore a T_u. Il valore di $T_u - T_1$ dipende dal genere di evaporatore a miscela o a superficie adoperato, e calcolato nella pratica tenendo conto dei vari fattori che influiscono in simili apparecchi ben noti. È noto che la differenza $T_u - T_1$ affetta valori minori nei comuni apparecchi a miscela che non in quelli a superficie. Nelle considerazioni che seguono si ammette lo stesso valore della differenza tanto per gli uni che per gli altri, in quanto negli evaporatori a miscela è necessario limitare strettamente il tempo di permanenza dell'acqua nell'apparecchio onde ridurre lo sprigionarsi dei gas in essa disciolti. Ugualmente tra la temperatura T_b del vapore allo scarico della macchina e la temperatura dell'acqua all'uscita del condensatore dovrà esistere uno scarto di temperatura che considereremo uguale tanto pel condensatore a miscela che per quello a superficie per la stessa ragione accennata, che assume in questo caso un'importanza notevolmente maggiore date le bassissime pressioni regnanti nel condensatore a miscela nel caso di vapor d'acqua.

Considereremo come temperatura utile della sorgente calda un valore $T_0 = T_a - (T_u - T_1)$ dove T_a è la temperatura assoluta effettiva della sorgente calda. In tal modo si potrà considerare la quantità di calore ceduta dalla unità di peso dell'acqua calda data da $T_o - T_1 = T_a - T_u$. Ugualmente se T_f è la temperatura assoluta della sorgente fredda, supposta in un primo momento di portata illimitata, chiamando con Δ_t la differenza di temperatura fra il vapore condensantesi e l'acqua all'uscita dal condensatore, considereremo per la sorgente fredda un valore utile dato da $T_b = T_f + \Delta_t$, che corrisponde alla temperatura dell'isoterma di condensazione.

Supporremo la macchina termica funzionare secondo un ciclo di Carnot compreso tra le isoterme $T_1 < T_0$ e T_b. Riferendosi alla unità di peso di acqua calda e considerando il calore specifico dell'acqua uguale ad uno, si ha ovviamente che la quantità di calore trasformabile in lavoro è data, nell'ipotesi della sorgente fredda di portata illimitata

$$q = (T_0 - T_1)\left(1 - \frac{T_b}{T_1}\right).$$

Considerando T_1 come variabile, si ha facilmente che il valore di essa che rende massimo q è dato da

$$T_1 = \sqrt{T_0 T_b}$$

ed il valore massimo di q da

$$q_{max} = T_0 + T_b - 2\sqrt{T_0 T_b}.$$

L'acqua calda abbandonerà il primo evaporatore alla temperatura $T_u > T_1$. Ove la differenza $T_u - T_b$ sia dell'ordine di venti trenta gradi, questa acqua può essere utilizzata come sorgente calda in una seconda macchina servita dallo stesso condensatore della prima. Per questa seconda macchina si considererà, per quanto prima accennato, come temperatura utile della sorgente calda la $T_1 < T_u$. Sia q_1 il calore raccolto per unità di peso di acqua calda nella prima macchina e q_2 quella raccolta nella seconda: il lavoro totale sarà dato da

$$q = q_1 + q_2 = (T_0 - T_1)\left(1 - \frac{T_b}{T_1}\right) + (T_1 - T_2)\left(1 - \frac{T_b}{T_2}\right)$$

e ricordando che il valore ottimo di T_2 nella seconda macchina è dato da

$$T_2 = \sqrt{T_1 T_b}$$

sarà

$$q = (T_0 - T_1)\left(1 - \frac{T_b}{T_1}\right) + (T_1 - \sqrt{T_1 T_b})\left(1 - \frac{T_b}{\sqrt{T_1 T_b}}\right)$$

onde

$$q_{max} = T_0 + 2T_b - 3\sqrt[3]{T_0 T_b^2}$$

determinandosi altresì le temperature ottime del primo e del secondo evaporatore rispettivamente in

$$T_1 = \sqrt[3]{T_0^2 T_b} \qquad \text{e} \qquad T_2 = \sqrt[3]{T_0 T_b^2}$$

in funzione delle temperature note T_o e T_b.

Ove gli evaporatori in cascata siano in numero di n sarà

$$q_{max} = T_0 + nT_b - (n+1)\sqrt[n+1]{T_0 T_b^n} \tag{1}$$

e le temperature di evaporazione dal primo evaporatore allo ennesimo date rispettivamente da

$$T_1 = \sqrt[n+1]{T_0^n T_b} \quad , \quad T_2 = \sqrt[n+1]{T_0^{n-1} T_b^2} \; ,$$

$$T_3 = \sqrt[n+1]{T_0^{n-2} T_b^3} \; , \; \ldots \; T_x = \sqrt[n+1]{T_0^{n+1-x} T_b^x} \; , \; \ldots \; T_n = \sqrt[n+1]{T_0 T_b^n} \; .$$

Il limite di $f(n) = q_{max}$ per n tendente all'infinito sarà

$$f(n) = T_0 + nT_b - (n+1)\sqrt[n+1]{T_0 T_b^n} = T_0 + nT_b - (n+1)T_b \sqrt[n+1]{\frac{T_0}{T_b}}$$

e ponendo $z = \frac{T_0}{T_b}$ ove $z > 1$

$$f(n) = T_0 - T_b\sqrt[n+1]{z} - nT_b(\sqrt[n+1]{z} - 1)\,.$$

Ma

$$\lim_{n\to\infty} - T_b\sqrt[n+1]{z} = - T_b \quad , \quad - nT_b(\sqrt[n+1]{z} - 1) = - T_b \frac{\sqrt[n+1]{z} - 1}{n^{-1}}$$

dove considerando che, per $n \to \infty$, $\sqrt[n+1]{z} - 1$ e n^{-1} tendono simultaneamente a zero si ha

$$\lim_{n\to\infty} \frac{\sqrt[n+1]{z} - 1}{n^{-1}} = \lim_{n\to\infty} \frac{\frac{d}{dn}(\sqrt[n+1]{z} - 1)}{\frac{d}{dn}(n^{-1})} = \log_n z$$

si ottiene

$$\lim_{n\to\infty} f(n) = T_0 - T_b - T_b (\log_n T_0 - \log_n T_b)$$

che poteva ottenersi anche per altra via, considerando che al limite il lavoro disponibile, come appare chiaramente nel diagramma $T\,S$, è quello dato da un ciclo di Rankine compreso fra le temperature T_0 e T_b nel quale la isoterma superiore si annulli.

La ipotesi fatta di adoperare una macchina funzionante secondo il ciclo di Carnot non corrisponde, tranne nel caso di infiniti salti, alle condizioni di migliore utilizzazione del calore disponibile dell'acqua calda. Riferendosi ad un ciclo di Rankine, molto più prossimo a quello reale della macchina impiegata, si ha per Kg. di vapore prodotto dall'acqua calda il lavoro

$$q = (T_1 - T_b)\left(\frac{r_1}{T_1} + \frac{T_1 - T_b}{T_1 + T_b}\right)$$

e per Kg. di acqua calda

$$q = (T_0 - T_1)c_{p1}\left\{\frac{T_1 - T_b}{T_1} + \frac{(T_1 - T_b)^2 c_{p2}}{(T_1 + T_b)r_1}\right\} \tag{2}$$

dove r_1 è il calore di vaporizzazione a T_1, c_{p1} il calore specifico medio dell'acqua fra T_0 e T_1 e c_{p2} quello fra T_1 e T_b.

La (2) si può scrivere

$$q = (T_0 - T_1)\left(\frac{T_1 - T_b}{T_1}\right) + (T_0 - T_1)\frac{c_{p1}}{r_1} \cdot (T_1 - T_b)c_{p2} \cdot \frac{T_1 - T_b}{T_1 + T_b}$$

il primo termine è quello considerato nell'ipotesi del ciclo di Carnot mentre il secondo termine additivo rappresenta il lavoro ottenibile dalla parte triangolare di cui il ciclo del Rankine supera quello di Carnot avente la stessa isoterma superiore e la stessa temperatura per l'isoterma inferiore.

L'interpretazione fisica di questo fatto è quanto mai semplice ove si tenga presente che nel caso di macchine a vapor d'acqua si vaporizza per Kg. di acqua calda un peso della stessa dato da

$$G = (T_0 - T_1)\frac{c_{p1}}{r_1}$$

pertanto per ogni Kg. di acqua calda ne viene scaricato $1 - G$ alla temperatura di T_1 mentre il peso G viene scaricato alla temperatura T_b, nella ipotesi di un solo salto. Questa quantità di acqua cederà fra le temperature T_1 e T_b una quantità di calore data da

$$G \cdot (T_1 - T_b)c_{p2} = (T_0 - T_1)\frac{c_{p1}}{r_1} \cdot (T_1 - T_b)c_{p2}$$

dove c_{p2} è il calore specifico medio dell'acqua fra le stesse temperature. Detta quantità di calore si trasformerà in lavoro con un rendimento dato da

$$\frac{T_1 - T_b}{T_1 + T_b}$$

che è quello di un ciclo di Rankine senza isoterma superiore.

Nella ipotesi di macchine a fluido diverso dall'acqua si deve tener conto che tutta l'acqua viene scaricata alla temperatura T_1 ma che essa può ancora cedere calore in controcorrente al liquido che, proveniente dal condensatore alla temperatura T_b, passa all'evaporatore alla temperatura T_1. Per Kg. di acqua calda, che alimenta l'evaporatore, la quantità di calore cedibile in controcorrente come preriscaldamento al liquido del nuovo fluido sarà data ovviamente da

$$(T_0 - T_1)\frac{c_{p1}}{r_1} \cdot (T_1 - T_b)c_{p2}$$

essendo

$$(T_0 - T_1)\,\frac{c_{p1}}{r_1}$$

il peso di liquido vaporizzabile da 1 Kg. di acqua calda nel passaggio tra le temperature T_0 e T_1 e dove c_{p2} ed r_1 sono rispettivamente il calore di evaporazione del fluido a T_1 ed il calore specifico medio del liquido dello stesso fra T_1 e T_b mentre c_{p2} è il calore specifico medio dell'acqua tra T_0 e T_1 che può supporsi uguale a 1.

L'ipotesi fatta di una macchina funzionante secondo un ciclo di Carnot porta quindi a ricavare, con le formule che ne derivano, valori di q_{max} lievemente inferiori a quelli ricavabili nella ipotesi di un ciclo di Rankine. La differenza non ha grande importanza pratica in sede di progetto, mentre le formule che si ricavano con la prima ipotesi sono notevolmente più semplici di quelle ottenibili con la seconda.

Il Rey derivando la (2) e ponendo $c_{p1} = \text{cost} = 1$, $r = a - bT$ ponendo $a = \text{cost}$ e $b = \text{cost}$ e, secondo le esperienze di Knoblauch, uguali $a = 732{,}2$ e $b = 0{,}567$ intorno ai 70° C introducendo la variabile ausiliaria $x = \dfrac{T_1}{T_b}$, ricava

$$\left(\frac{x+1}{x-1}\right)\left(\frac{a}{T_b} - bx\right)\left(1 - \frac{m}{x^2}\right) = (m - x)\left[2 + \frac{b(x-1)}{\dfrac{a}{T_b} - bx}\right] - \frac{m+1}{\left(\dfrac{x-1}{x+1}\right)}$$

dove

$$m = \frac{T_0}{T_b} = \text{cost}\,,$$

equazione di quarto grado in x che risolve per approssimazioni successive.

Da essa ricava per il lavoro massimo nel caso d'un solo salto

$$q_{max} = (T_0 - T_1)\left\{\frac{T_1 - T_2}{T_1} + \frac{(T_1 - T_b)^2}{(T_1 + T_b)(a - bT_1)}\right\}.$$

I calcoli del Rey non vanno oltre la considerazione di un solo salto. Un esempio numerico potrà valere a mostrare i risultati ottenibili mediante le due ipotesi, del ciclo di Carnot e di quello di Rankine.

Facendo $t_0 = 100^\circ$ C, $T_0 = 373^\circ$ $t_b = 30^\circ$ C, $T_b = 303^\circ$ vale a dire portandosi nel campo dei massimi salti di temperatura ammissibili per acque termali si ottiene:

Ciclo di Carnot	$T_{optim} = 336{,}3^\circ$ K	$q_{max} = 3{,}67$ cal/Kg.
» di Rankine	$T_{optim} = 336{,}8^\circ$ K	$q_{max} = 3{,}74$ »

Circa l'importanza reale di tale differenza va notato che in ispecie per i q_{max} i risultati ottenibili dall'applicazione dell'uno o l'altro ciclo hanno valore puramente indicativo.

Nei calcoli fin qui eseguiti si è sempre considerata la sorgente fredda di portata illimitata, cosa che nel campo della reale applicazione difficilmente si verifica. Nel caso più frequente in cui la portata della sorgente fredda sia limitata, il valore di T_b, fin qui ottenuto facendo $T_b = T_f + \Delta t$ va opportunamente modificato.

Sia Q_c la portata della sorgente calda a temperatura T_0 e Q_f la portata della sorgente fredda alla temperatura di T_f. Posto $Q_f/Q_c = k$, e $T_f' = T_f + \Delta t$ nel caso di un solo salto si ricava facilmente il valore di T_b da introdurre nella (1) si ha evidentemente per $n = 1$, e per un dato valore di k,

$$(T_b - T_f') \cdot k = T_0 - T_1 - q$$

e ricordando che $q = T_0 + T_b - 2\sqrt{T_0 T_b}$

$$(T_b - T_f')k = - T_b + \sqrt{T_0 T_b}$$

nell'unica variabile T_b da cui

$$(k + 1)^2 T_b^2 - [2k(k + 1)T_{f1} + T_0]T_b + k^2 T_{f1}^2 = 0 .$$

Analogamente nel caso di n salti si ottiene T_b dalla

$$(n + k)T_b + kT_{f1} = n\sqrt[n+1]{T_0 T_b^n} .$$

Della importanza che ha la portata della sorgente fredda in simili impianti si può avere un'idea nel seguente esempio numerico.

Supposta la sorgente calda a 60° C, quella fredda a 14° C, caso realmente verificatosi in pratica con un pozzo artesiano caldo e con acqua di mare, con portata della sorgente calda di 100 litri al secondo.

Ammesso per la trasmissione attraverso parete uno scarto minimo di temperatura di 3° C tanto per l'evaporatore che pel condensatore.

Nel caso di un salto unico si ha:

Rapporto fra le portate di acqua fredda e calda . K =	1	2	3
Temperatura effettiva della sorgente calda:	60°	60°	60°
» » della sorgente fredda: . . .	14°	14°	14°
» utile sorgente calda:	57°	57°	57°
» » » fredda:	17°	17°	17°
» ottima di evaporazione:.	43°	40°,6	39°
» » di condensazione:	31°	24°,7	22°
Differenze tra le isoterme:	12°	15°,9	17°
Cavalli ideali per litro/sec di acqua calda:	2,90	4,74	5,50

La reale utilizzazione del lavoro disponibile. — Il lavoro idealmente disponibile può essere utilizzato come si è detto mediante macchine a vapore d'acqua o di fluidi diversi. Tenendo presente che le sorgenti termali, per la loro temperatura e portata possono alimentare centrali di potenza modesta dell'ordine di poche centinaia di cavalli e raramente oltre il migliaio, le macchine a vapor d'acqua presentano notevoli inconvenienti. Primo fra tutti quello che, date le bassissime pressioni regnanti nell'evaporatore e soprattutto nel condensatore, dell'ordine di qualche centesimo di atmosfera assoluta, buona parte dei gas contenuti nell'acqua calda ed in quella fredda si libera negli apparecchi a miscela ed occorre continuamente riportarla dal condensatore all'atmosfera con rapporti di compressione che vanno da 30 a 50. Le acque termali sono ricche di gas disciolti ed il lavoro occorrente alla pompa di estrazione dell'aria è notevole, e, malgrado gli speciali accorgimenti adottati e tenuto anche conto delle difficoltà di tenuta degli apparecchi, ne deriva che buona parte dell'energia prodotta nei piccoli impianti viene assorbita a questo solo scopo. Si aggiunga che il vapore prodotto dagli evaporatori a pioggia presenta forte umidità, dovuta buona parte al trascinamento di goccioline di acqua non evaporata, con tutte le spiacevoli conseguenze note nelle turbine, ed infine il formidabile volume specifico del vapore allo scarico che raggiunge facilmente i 50 mc/Kg.

Le forti cadute adiabatiche che si verificano per il vapor d'acqua anche per isoterme ravvicinate sono notevoli e richiedenti spesso turbine a più salti di pressione o di velocità.

Tutti questi inconvenienti possono essere ridotti o addirittura eliminati sostituendo al vapor d'acqua fluidi opportunamente

scelti. Tenuto conto che le velocità di efflusso realizzabili nella espansione adiabatica di un vapore saturo fra due date temperature variano, sia pure con approssimazione grossolana, in ragione inversa alla radice quadrata del peso molecolare del fluido che si espande, adoperando vapori ad alto peso molecolare possono ottenersi, nell'intervallo che a noi interessa e cioè fra i 90° e i 15°, velocità di efflusso notevolmente inferiori a quelle del vapor d'acqua e tali da permettere senz'altro l'impiego di una turbina monoruota ad azione ad unica corona di pale, a bassa velocità periferica pur mantenendo ottimo il rapporto fra questa e la velocità di efflusso del vapore e quindi elevato il rendimento termodinamico.

Fra i fluidi ad elevato peso molecolare fu scelto il cloruro di etile (peso molecolare 64) la cui velocità di efflusso in una espansione adiabatica nell'intervallo considerato non supera i 400 m/sec mentre per l'acqua (peso molecolare 18) si arriva ai 1000 m/sec.

Il cloruro di etile presenta inoltre il vantaggio di possedere pressioni di saturazione, alle temperature di condensazione previste per simili impianti, di poco superiori alla atmosfera. Ciò mentre evita il pericolo di qualsiasi rientrata di aria in seno al fluido, eliminando senz'altro ogni pompa di estrazione d'aria e relativo consumo di energia, permette di eliminare praticamente le fughe del fluido verso l'esterno, in quanto nella turbina e nel condensatore regnano pressioni di solo qualche metro di acqua superiori a quella atmosferica. Il campo delle pressioni superiori rimane limitato al solo evaporatore, dove peraltro si raggiungono valori modesti (9,31 atmosfere assolute a 90°).

Il titolo del vapore dopo l'espansione adiabatica rimane elevatissimo, oltre i 0,98, eliminandosi quasi del tutto ogni azione frenante e corrodente delle goccioline di liquido sulla palettatura. Presenta infine un elevato rapporto c_{p2}/r_1, ed un elevato rapporto tra il volume specifico allo scarico e la caduta adiabatica, tale da permettere di raggiungere l'ammissione totale sulla palettatura di altezza accettabile, anche in turbine di solo cento cavalli a tremila giri al minuto. Ciò ha una importanza notevole in quanto elimina le perdite per ventilazione delle pale, mentre quelle per frizione del disco sono ridotte per la bassa velocità periferica dello stesso.

Le basse velocità di efflusso che si ottengono con l'adozione del cloruro di etile permettono di adottare una turbina monoruota ad azione ad unica corona di pale anche quando la temperatura

della sorgente termale sia sufficientemente alta da permettere l'impiego di più evaporatori in cascata. È da notare che in tal caso gli evaporatori avranno pressioni di evaporazione gradualmente decrescenti dal primo all'ultimo. Ammettendo che ciascuno di essi alimenti un gruppo di ugelli in unica espansione adiabatica fino alla pressione del condensatore, unico per tutti gli evaporatori,

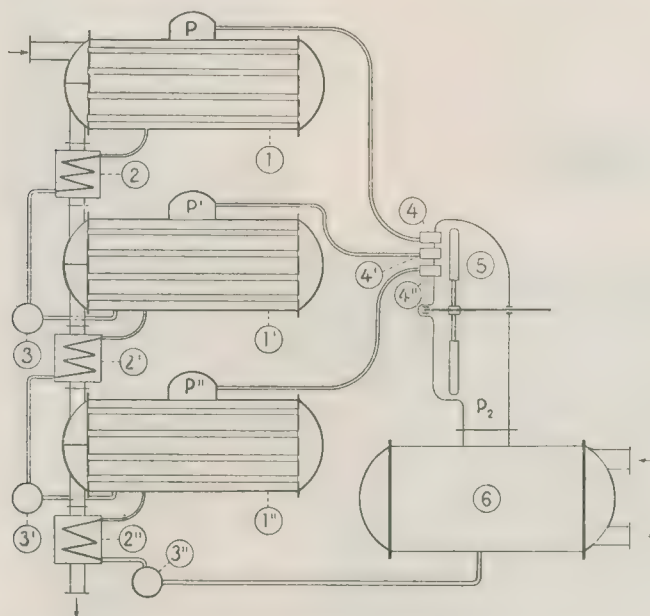



Fig. 1. — Schema di una motrice per acque termali a tre salti.

1, 1', 1'' - Evaporatori. — 2, 2', 2'' - Preriscaldatori del liquido. — 3, 3', 3'' - Pompe di alimentazione degli evaporatori. — 4, 4' 4'' - Ugelli della turbina. — 5 - Turbina monoruota a vapori pesanti. — 6 - Condensatore.

ciascun evaporatore darà luogo ad una velocità di efflusso diversa, gradualmente decrescente dal primo all'ultimo. Disponendo i vari gruppi di ugelli a distanze diverse dall'albero della turbina, si può ottenere che ciascun getto colpisca la pala in un punto, la cui velocità periferica sia in rapporto costantemente ottimo con la velocità del getto rispettivo, mantenendo simili i triangoli di velocità. Le pale della ruota avranno lunghezza adeguata allo scopo ed inclinazione costante all'ingresso. Anche in questo caso si adotterà l'ammissione totale. La fig. 1 dà una idea dello schema di un impianto a tre evaporatori in cascata azionanti un'unica ruota ad azione ad unica corona di pale.

Risultati di prove eseguite su un impianto a cloruro di etile. — Allo scopo di esaminare il reale comportamento del

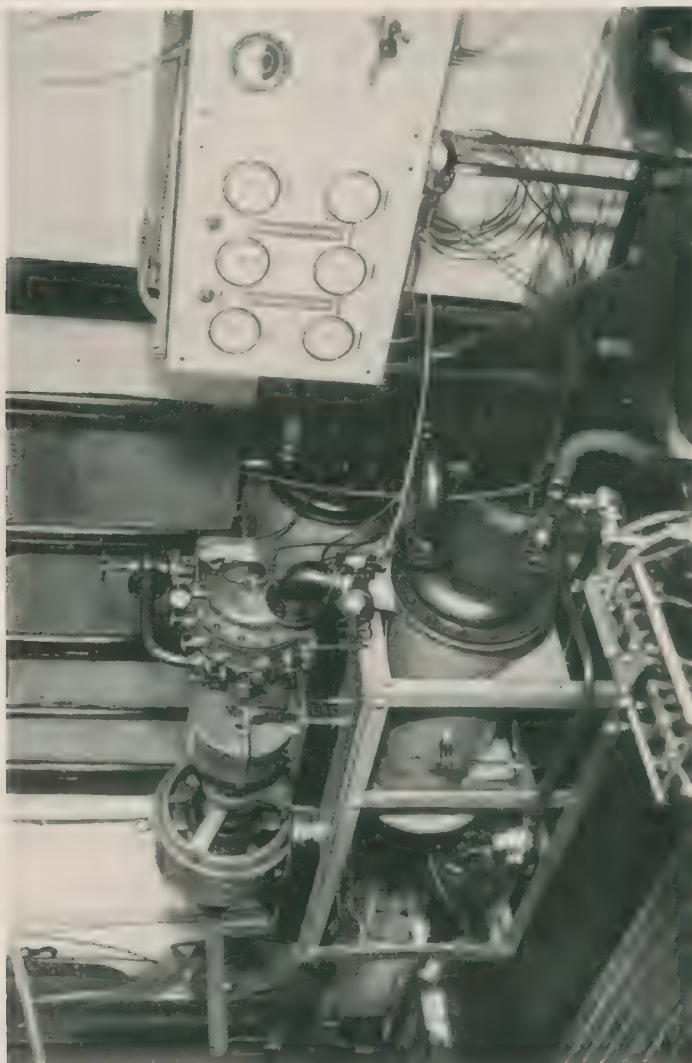



Fig. 2. — Turbina a vapore di cloruro di etile per la utilizzazione delle acque calde. Istituto di Macchine della R. Università di Napoli.

cloruro di etile in un impianto a vapore funzionante nelle condizioni dinanzi previste, nell'Istituto di Macchine della R. Università di Napoli fu costruito un piccolo gruppo della potenza di 10 cavalli. La caldaia ed il condensatore avevano la struttura

dei comuni condensatori a superficie a più percorsi. La caldaia aveva tubi in ferro, il condensatore in ottone, mentre il preriscaldatore era con tubi di rame. Ciò per esaminare anche il reale comportamento dei vari metalli in contatto col cloruro di etile. L'impianto utilizzava un unico salto. L'acqua calda era in circuito chiuso e quella restituita dal preriscaldatore era riportata alla temperatura iniziale con riscaldamento a vapore. L'acqua fredda era fornita dalla rete di distribuzione di acqua potabile. La turbina ad azione era monoruota con unica corona di pale dal diametro di mm. 220, alimentata da sei ugelli a comando indipendente. La turbina era accoppiata mediante riduttore ad ingranaggi col rapporto 1/10 ad una dinamo-freno ad induttore oscillante per la facile misurazione della energia prodotta dalla turbina. La stessa dinamo adoperata come motore potette servire alla determinazione della energia assorbita per frizione e ventilazione della girante alle varie velocità nelle reali condizioni di scarico. L'impianto era munito di tutti gli apparecchi di misura, da quadro e di precisione, della temperatura e delle pressioni nei vari punti dell'impianto, della portata dell'acqua fredda, dell'acqua calda, del condensato, nonchè munito di tachimetro e di tutti gli apparecchi elettrici per la variazione della potenza assorbita.

Riassumiamo a titolo informativo i dati di una delle varie prove, eseguita a mezzo carico per la scarsità dell'acqua fredda a disposizione:

Acqua calda: portata	l/sec	2,1
Temperatura ingresso caldaia	»	60,0
» uscita caldaia	»	43,2
» » preriscaldatore	»	42,2
Acqua fredda: Portata	l/sec	5,0
Temperatura ingresso condensatore	»	12,1
» uscita »	»	19,2
Caldaia: temperatura di evaporazione	°C	40,0
pressione di evaporazione	at/ass.	2,61
Condensatore: temperatura di condensazione	°C	22,0
pressione	at/ass.	1,45
Turbina: numero dei giri al minuto		7.800
Velocità periferica della girante	m/sec	90,00
Potenza misurata al giunto della dinamo	C. V.	4.85
» assorbita dal riduttore e per le perdite per frizione e ventilazione della girante: a 7800 giri al minuto	»	2,60
Potenza resa alla palettatura	»	7,45
Numero degli ugelli in azione		2
Arco abbracciato dagli stessi		36°

Portata ponderale di vapore di cloruro	Kg/ora	1459,00
Calorie rese disponibili nel salto adiabatico fra le isoterme di 40° e 22°	Cal/Kg	5,01
Calorie per Kg. di vapore trasformate in lavoro alla palettatura 7,45 × 632/1459 = ...	»	3,247
Rendimento termodinamico 3,247 : 5,01	η_t	0,65
Rendimento secondo un ciclo di Carnot tra le isoterme di 40° e 22° (coefficiente economico)	η_e	0,0575
Rendimento reale alla palettatura: $\dfrac{7{,}45 \times 632}{2{,}1 \times 3.600 \times (60 - 42{,}2)}$ = ...	η_p	0,03479
η_p/η_e		0,61
Potenza ottenuta per litro/sec d'acqua calda	C. V.	3,54

Dopo quattordici mesi fu smontata la macchina e riscontrato che il cloruro di etile non aveva per niente attaccato i metalli. Le perdite di cloruro di etile per fughe erano state pressochè insignificanti.

Cenni sulla disponibilità di energia da alcune sorgenti termali. — Sulla disponibilità di acque termali in Italia e nell'Impero non si hanno notizie molto precise. L'accenno ad alcune delle più note potrà servire a valutare l'importanza non trascurabile del problema. Così la sorgente del Montirone del gruppo di Abano con una portata media di 33 l/sec a 87°, utilizzata con tre salti e con acqua fredda a 15° potrebbe dare all'albero della turbina circa 600 C. V. con una produzione annua di circa 3.800.000 di kWh. Nell'Isola di Ischia i numerosi pozzi freatici in riva al mare danno acqua a temperatura fra i 70° e i 75°. La presenza nella immediata vicinanza di una sorgente fredda quale l'acqua del mare fa prevedere con opportuni allacciamenti delle sorgenti di poter ricavare dai sei ai settecento cavalli con produzione annua di circa quattro milioni di kWh. Nei Campi Flegrei da ricerche iniziate si prevedono condizioni anche migliori.

In Tripolitania, a circa sei chilometri da Tripoli il pozzo artesiano di seconda falda di Giama-El-Turk dà acqua a 63° con una portata media che non è stato ancora possibile determinare: ma che si prevede per analogia con altri pozzi di circa trecento metri cubici all'ora.

Utilizzando anche una turbina ad un solo salto servita come sorgente fredda dall'acqua di prima falda a 21° si possono ottenere circa 250 cavalli all'albero della turbina utilizzabili a scopo irriguo e capaci di sollevare dalla prima falda circa 700 litri di acqua al secondo. Altri pozzi in escavazione lungo il mare fanno

prevedere acqua a temperatura anche maggiore e con portate dello stesso ordine di grandezza. La disponibilità di acqua fredda in quantità illimitata dal mare permetterebbe di prevedere una potenza di circa quattrocento cavalli per pozzo, utilizzabili a scopo di produzione di energia elettrica. Non può sfuggire l'importanza di tali fonti di energia in una regione ove è nota l'assenza quasi assoluta di ogni altra forma di energia naturale di facile sfruttamento.

In Etiopia si ha notizia di varie sorgenti termali, ma non si hanno ancora dati precisi.

Gli esempi accennati non contemplano che alcune delle disponibilità di acqua termale. Molti ancora se ne potrebbero indicare. Essi valgono a mostrare che il problema della utilizzazione delle acque termali a scopo di energia motrice è tutt'altro che trascurabile.

BIBLIOGRAFIA

1. Piero Ginori Conti, *L'attività endogena quale fonte di energia.* Relazione della seduta del 3 aprile 1938 alla Reale Accademia Nazionale dei Lincei. Classe Scienze fisiche, matematiche e naturali.

2. Piero Ginori Conti, *La centrale elettrica geotermica di Larderello.* XXXVII Riunione annuale dell'A. E. I. - Firenze 1932.

3. Jean Rey, *De l'utilisation de l'énergie des eaux chaudes industrielles et naturelles.* « Chaleur et Industrie », 1930, N. 121.

4. Luigi d'Amelio, *L'impiego di vapori ad alto peso molecolare in piccole turbine.* I. N. A. G., Napoli, 1935.

5. Luigi d'Amelio, *La degassificazione preventiva dell'acqua di raffreddamento nei condensatori a miscela.* « Atti del Reale Istituto d'Incoraggiamento di Napoli », 1936.

VI Gruppo.

SUCCEDANEI ALCOOLICI DELLE BENZINE

ANTONIO CAPETTI

DIRETTORE DEL LABORATORIO DEI MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA
DEL R. POLITECNICO DI TORINO

La ripresa e l'accelerazione dei motori a carburazione alimentati con alcool etilico puro o mescolato con etere.

RIASSUNTO. — *Si è studiato il modo di comportarsi dei diversi carburanti durante i periodi di variazione di regime del motore, ricercando l'importanza delle varie influenze ed in particolare, oltre a quella della natura del carburante, l'importanza della ricchezza della miscela e della temperatura delle pareti della tubazione aspirante.*

1. PREMESSE. — In questa nota si rende conto dello studio eseguito nel Laboratorio di Motori a combustione interna del R. Politecnico di Torino, coll'appoggio del Consiglio Nazionale delle Ricerche, su quella fase transitoria del funzionamento di un motore a carburazione, che segue ad una rapida apertura del carburatore. Questa fase comprende un periodo di attesa, in cui il motore può anche rallentare, e poi l'acceleramento fino al nuovo regime. Affinchè il motore si possa dire pronto nell'obbedire ai comandi è evidentemente necessario che il periodo di attesa manchi o sia il più breve possibile e l'accelerazione successiva sia la più grande. Ora il ritardo con cui la coppia motrice si porta al valore che compete alla nuova apertura del carburatore (« coppia di regime »), nel caso di impiego di carburanti liquidi, va essenzialmente attribuito alla condensazione di una parte del carburante sulle pareti della tubazione aspirante in seguito all'improvviso aumento di pressione della miscela che la riempie. Ciò spiega l'influenza della dosatura e nello stesso tempo fa risaltare quella della volatilità del combustibile. È facile prevedere che a parità di altre condizioni, la ricchezza della miscela necessaria per ottenere da carburanti diversi una stessa facilità di ripresa sarà tanto minore quanto più volatile è il carburante. In questo senso è

lecito considerare come un fattore d'economia la volatilità o meglio, globalmente, l'attitudine a dare buone accelerazioni. Ecco che allora, specialmente per il funzionamento in condizioni varie (marcia di autoveicoli nelle vie cittadine), il criterio di confronto dei carburanti si scosta da quello *primario* dato dalla curva rendimento-potenza, per comprendere anche questo *secondario* dei rendimenti in funzione della facilità di acceleramento.

Una ricerca obbiettiva a questo riguardo si prospettava di particolare interesse per l'alcool, per il quale le impressioni dei conducenti di autoveicoli sono sempre state piuttosto contraddittorie, vantando alcuni la possibilità di usare miscele più magre (tenuto conto del diverso potere calorifico) che colla benzina, sostenendo altri il contrario.

Lo scopo della presente ricerca era dunque essenzialmente comparativo. La scarsità di dati sperimentali riguardo all'argomento dell'accelerazione ne ha fatto tuttavia allargare un poco i limiti, e, speriamo, anche l'interesse.

2. Scelta del parametro rappresentativo. — Il documento completo di una esperienza di acceleramento è costituito dal diagramma delle coppie motrici in funzione del tempo. Esso può venir dedotto dal diagramma delle accelerazioni rilevato direttamente con un accelerografo, o derivato da un tachigramma, calcolando, in base alla conoscenza del momento d'inerzia del rotore, le coppie d'inerzia ed aggiungendo ad esse le coppie resistenti che erano state rilevate con una taratura preventiva del freno (fig. 1). L'analisi dei singoli diagrammi delle coppie motrici così ottenuti può riuscir molto istruttiva, ma per gli scopi comparativi è più pratico ed in generale sufficiente l'uso di valori singoli, scelti in modo da rappresentare globalmente il comportamento del motore nella prova. Come tali abbiamo scelto i due intervalli seguenti: il *tempo di ripresa* ed il *tempo di accelerazione*. Il primo si estende dall'inizio dell'apertura del carburatore fino all'istante in cui il motore ritorna alla velocità iniziale: nell'esempio scelto per la fig. 1 questo istante coincide esattamente con quello in cui la coppia motrice ha raggiunto il suo valore di regime (ripresa « dinamica »); in altri casi la coincidenza non è altrettanto perfetta, tuttavia, benchè il tempo della ripresa dinamica sia più significativo di quello della ripresa cinematica, abbiamo adottato quest'ultimo per ovvie ragioni di praticità.

Il tempo di accelerazione è definito come l'intervallo compreso fra l'inizio dell'apertura del carburatore e l'istante in cui il motore

ha raggiunto una certa velocità, fissata in modo che risulti inferiore di alcune centinaia di giri a quella di regime. Dei due parametri, il tempo di ripresa si presenta con numerosi vantaggi pratici, tra i quali quello che, essendo eguali le velocità agli estremi

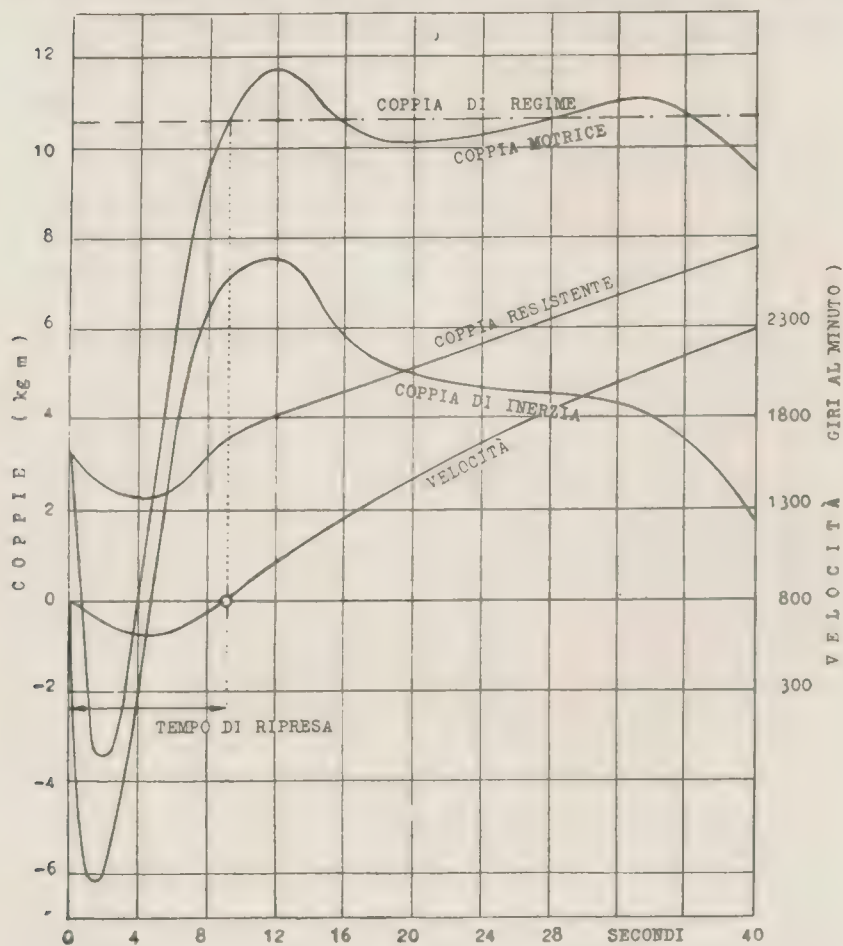



Fig. 1.

dell'intervallo, sono allontanate almeno fino ad un certo punto le influenze sia della caratteristica del freno, sia, ciò che più conta, della stessa coppia motrice di regime, influenze che invece si esercitano in pieno sul tempo di accelerazione.

Non sempre però il tempo di ripresa basta a caratterizzare il comportamento di una miscela: l'esperienza ci ha mostrato che finchè si tratta di miscele variamente dosate di uno stesso

3. Indirizzo sperimentale. — Un breve elenco delle influenze che si esercitano sul fenomeno che abbiamo studiato, o più semplicemente sul tempo di ripresa può essere il seguente:

a) natura del combustibile;

b) dosatura relativa della miscela carburata;

c) tipo del carburatore (essenzialmente per quanto riguarda il comportamento della dosatura al variare della velocità e dell'apertura del carburatore);

d) tipo del motore (essenzialmente per quanto riguarda il numero dei cilindri e la disposizione della tubazione aspirante);

e) inerzia del sistema accelerato;

f) *g*), *h*) temperature dell'aria, della tubazione aspirante, e dei cilindri;

i) caratteristica del freno;

l) velocità di apertura del carburatore;

m), *n*) condizioni estreme della manovra (velocità, coppia e pressione nella tubazione aspirante prima e subito dopo l'apertura del carburatore).

Norma fondamentale per tutte le ricerche è quella di isolare le influenze singole per poterne sceverare l'importanza. Ciò si ottiene teoricamente mantenendo costanti tutte le altre circostanze e scegliendo per queste valori opportuni, cioè i valori per i quali si manifesta più attiva l'influenza della circostanza studiata (nel nostro caso particolarmente la *a* e la *b*). Praticamente la cosa riesce facilitata se si eseguiscono le prove in condizioni tali da eliminare addirittura la maggior parte delle influenze estranee allo studio. Siccome però nel nostro caso il fenomeno da studiare aveva un carattere spiccatamente tecnico, così era necessario evitare di eccedere in questo indirizzo, allontanandosi troppo dalle condizioni dell'esercizio pratico dei motori. Per questo abbiamo ritenuto opportuno usare nelle prove un carburatore normale anzichè un semplice spruzzatore immesso nella bocca di questo, come ha fatto nelle sue notevolissime esperienze su questo stesso argomento Granger Brown [1], poichè operando in questa maniera si elimina bensì l'influenza *c* e vien meglio misurata la dosatura media durante la prova di acceleramento, *b*, ma si prescinde dalla registrazione del carburatore in condizioni di regime, che è quella che in realtà influisce sulla legge: rendimento-tempo di ripresa, o ciò che è lo stesso: economia-comodità.

---

[1] « University of Michigan Engineering Research Bulletin », 1927.

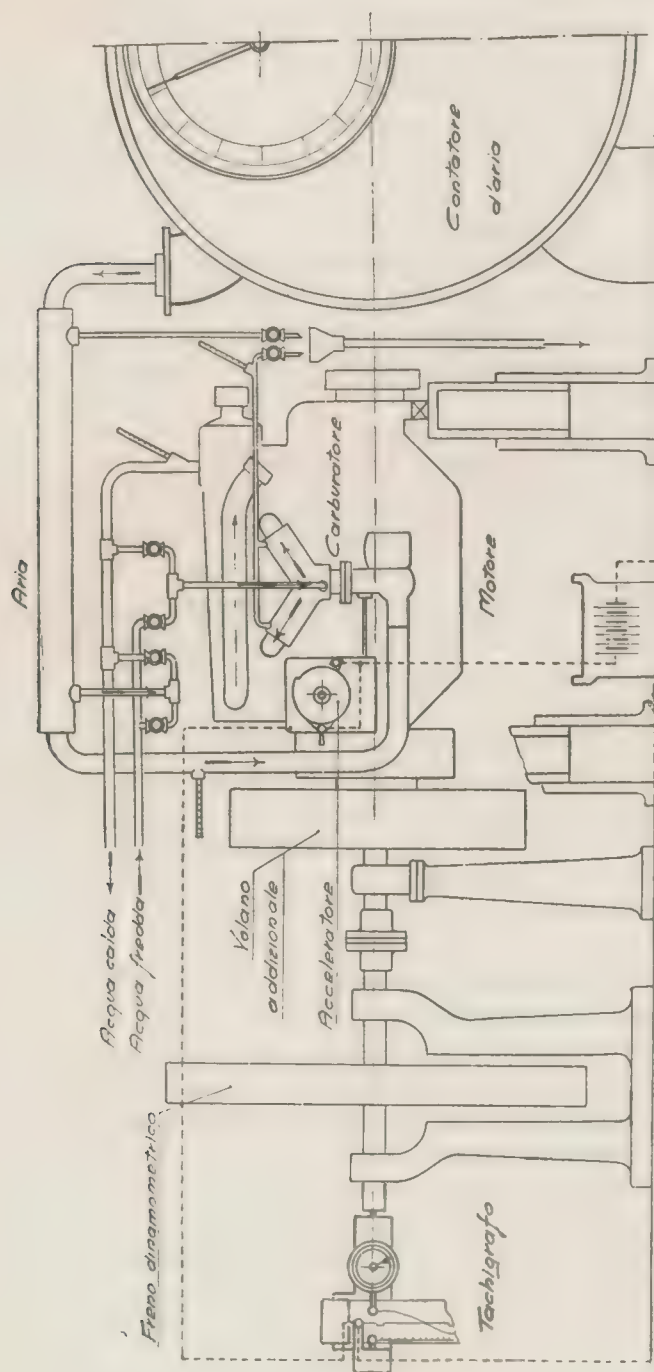



Fig. 3.

4. Apparecchiatura [1]. — Le prove sono state eseguite su di un motore da automobile a sei cilindri Fiat-121 munito di un unico carburatore verticale ritto Solex senza pompa di ripresa, e frenato con un dinamometro idraulico a laminazione Ranzi. Sull'albero di connessione del motore col freno si è calettato un volano addizionale di momento d'inerzia equivalente a quello

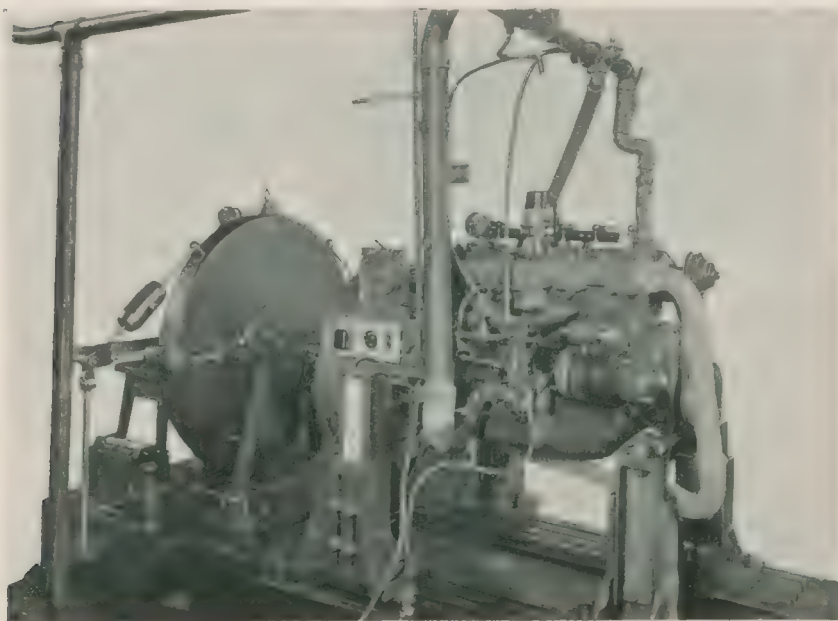



Fig. 4.

della massa della vettura ridotta all'albero, col cambio in presa diretta. La tubazione aspirante ordinaria ha una zona di parete comune colla tubazione di scarico: questo rende difficile il controllo dell'influenza *g* (temperatura della tubazione); essa è stata quindi sostituita con un'altra circondata invece da un inviluppo a circolazione di acqua, che un sistema di robinetti permette di avere a qualunque temperatura fino a quella di uscita dai cilindri del motore, ed eventualmente, coll'uso di una resistenza elettrica avvolta attorno all'involucro, a temperatura anche superiore.

(1) Hanno collaborato con me: nella preparazione dell'attrezzatura, il dott. ing. Bino Conte (†) e nella esecuzione delle prove fino a tutto il 1937, il dott. ing. Mario Segre, entrambi ricercatori messi a mia disposizione dal Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Il carburatore aspira l'aria da un contatore volumetrico mediante una tubazione essa pure munita di inviluppo per la circolazione di liquido refrigerante o riscaldante (influenza *f*).

Gli ordinari metodi a serbatoi tarati hanno servito per la misura del consumo di combustibile.

Per l'apertura del carburatore si è fabbricato un apposito apparecchio automatico a molla (figg. 5 e 6). L'alberino di comando

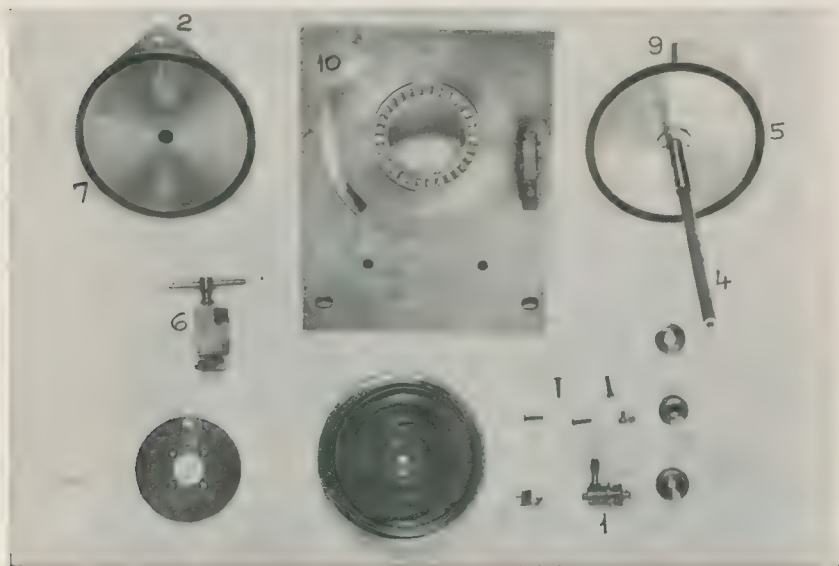



Fig. 5.

della farfalla *4* è solidale ad un disco *5* sollecitato da una molla a spirale a girare verso destra (senso di apertura) mentre è ordinariamente tenuto fermo dal perno *2* che si insinua nel foro dell'orecchia *3*. L'operatore premendo la leva *1* sfila il perno *2* e lascia così libero il disco, che a sua volta muove la farfalla. La rotazione dura finchè il dente *9* del disco incontra l'arresto *6*. L'apparecchio è combinato in modo da poter variare a volontà le posizioni iniziale e finale del disco, e la sua velocità media; inoltre si può svincolare l'alberino dall'apparecchio per l'ordinario comando manuale del carburatore. A questo scopo il disco è costituito da due parti, l'una, *7*, solidale al capo libero della molla, è semplicemente infilata sull'alberino, mentre l'altra, *5*, è scorrevole su due linguette; le due parti sono calettate mediante la fine dentatura frontale *8*, che permette sia il loro disinnesto, sia l'innesto con qualunque angolo. L'arresto *6* è spostabile entro

la feritoia circolare graduata *10* della piastra di sostegno. Il meccanismo di carica della molla consente la variazione della tensione iniziale della stessa. L'abbassamento della leva *1* e l'incontro

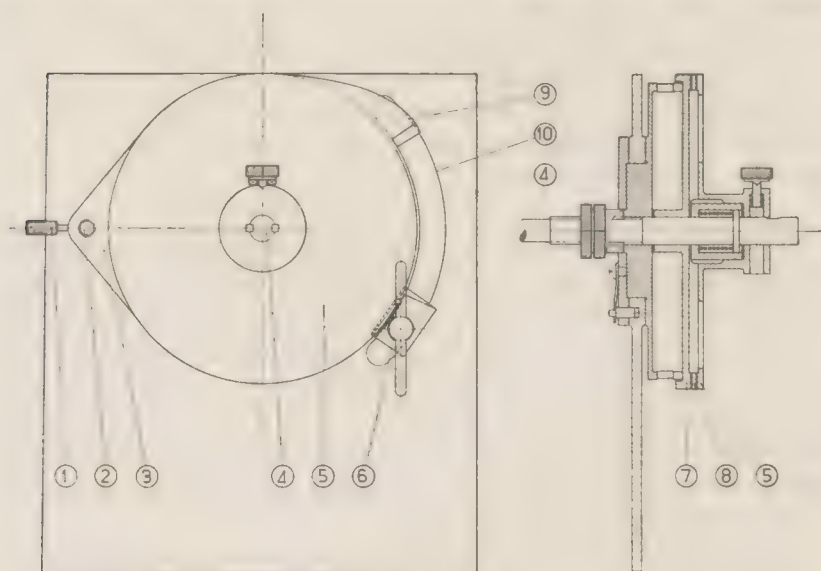



Fig. 6.

del dente *9* coll'arresto *6*, determinano la chiusura di un circuito elettrico e quindi la segnalazione degli istanti iniziale e finale del periodo di apertura del carburatore.

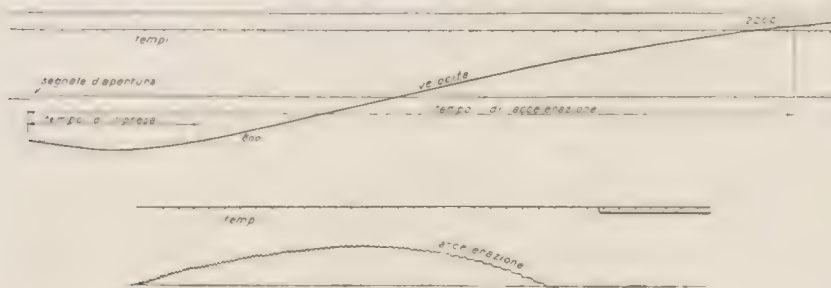



Fig. 7.

Per la misura del fenomeno si è pensato dapprima all'uso di un accelerografo, adattando a questo scopo un torsiografo Geiger. Il metodo non ha però risposto alle esigenze pratiche, perchè le accelerazioni cicliche del motore rendono gli accelerogrammi profondamente ondulati e quindi difficilmente utilizzabili. Risul-

tati qualitativamente migliori si sono ottenuti smorzando energicamente le vibrazioni del torsiografo (fig. 7); ma allora la taratura dell'accelerografo si è mostrata di scarsa precisione, tanto da rendere incerto il confronto fra i risultati di prove diverse. Si è allora abbandonato il metodo accelerografico sostituendovi con piena soddisfazione quello tachigrafico (fig. 7). Sulla stessa carta che raccoglie il diagramma della velocità viene effettuata anche la registrazione cronografica e quella, già accennata, dell'istante di apertura del carburatore.

5. Condotta delle prove. — I combustibili provati sono stati: *alcool etilico anidro*, gentilmente concesso dalle Distillerie Italiane, denaturato col denaturante speciale per carburanti; le sue *miscele col 10 % e col 20 % in peso di etere* (altre percentuali sono state oggetto di qualche prova, ma non in serie sufficientemente complete, perchè metta conto di riferirne i risultati) ed una *benzina* ordinaria da automobile, priva di alcool, scelta come termine di confronto. Di ciascun carburante sono state provate miscele con aria in diverse proporzioni, entro i limiti di possibilità di funzionamento.

Un lungo lavoro preliminare ha avuto lo scopo di scegliere le migliori circostanze da adottare come *normali* per le prove comparative, ritenendo migliori quelle che mettono il motore in condizioni di acceleramento piuttosto difficili, sicchè le influenze del carburante e della dosatura siano ben palesi, ma non tanto da impedire lo studio dei carburanti meno volatili ed alle dosature più magre, o da rendere necessaria una troppo scrupolosa ripetizione loro di prova in prova. Le circostanze da normalizzare erano quelle che nel par. 3 abbiamo indicato con *f*, *g*, *h*, *l*, *m*, *n*; si è quindi studiata sperimentalmente l'influenza di queste prima che quella delle variabili che erano lo scopo principale della ricerca (tipo del combustibile e dosatura della miscela). I risultati di queste prove sono presentati nelle figure 8 ÷ 11, che hanno tutte per ordinate i tempi di ripresa, mentre le ascisse sono rispettivamente le temperature dell'aria prima del suo ingresso nel carburatore (fig. 8, influenza *f*), le temperature dell'acqua all'uscita dall'involucro della tubazione aspirante (fig. 9, influenza *g*), le velocità iniziali del motore (fig. 10, influenza *m*), le depressioni nel carburatore a valle della farfalla subito al termine della manovra di acceleramento (fig. 11, influenza *n*). Per meglio definire le condizioni iniziali e finali, nella fig. 10 sono state riportate anche le linee delle potenze e delle depressioni che si hanno a valle della farfalla prima della manovra di acceleramento; allo

stesso scopo nella fig. 11 sono segnate anche la linea degli angoli d'apertura del carburatore e quella delle coppie che si avrebbero

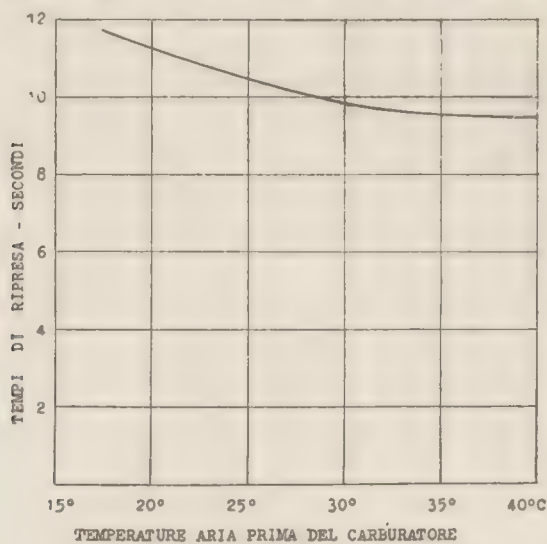



Fig. 8.

per le singole aperture finali ad un regime eguale all'iniziale (800 giri al 1º nel nostro caso).

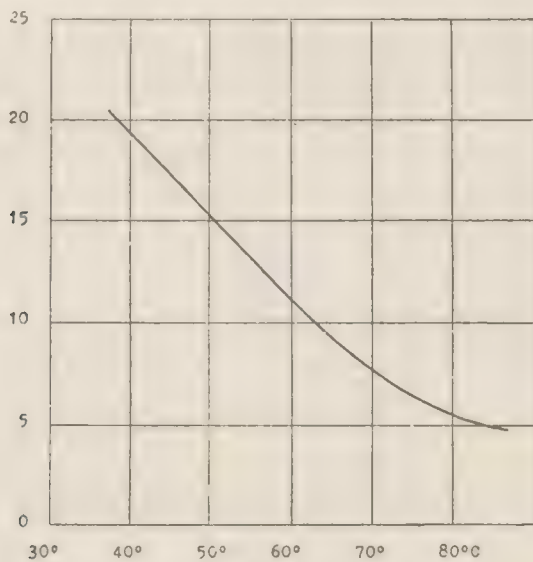



Fig. 9.

In base a queste osservazioni si è stabilito di sperimentare con aria a 23º C, acqua di riscaldamento della tubazione aspi-

rante a 60° C, motore in funzionamento da almeno mezz'ora con acqua refrigerante a circa 65° C all'uscita dai cilindri; manovra

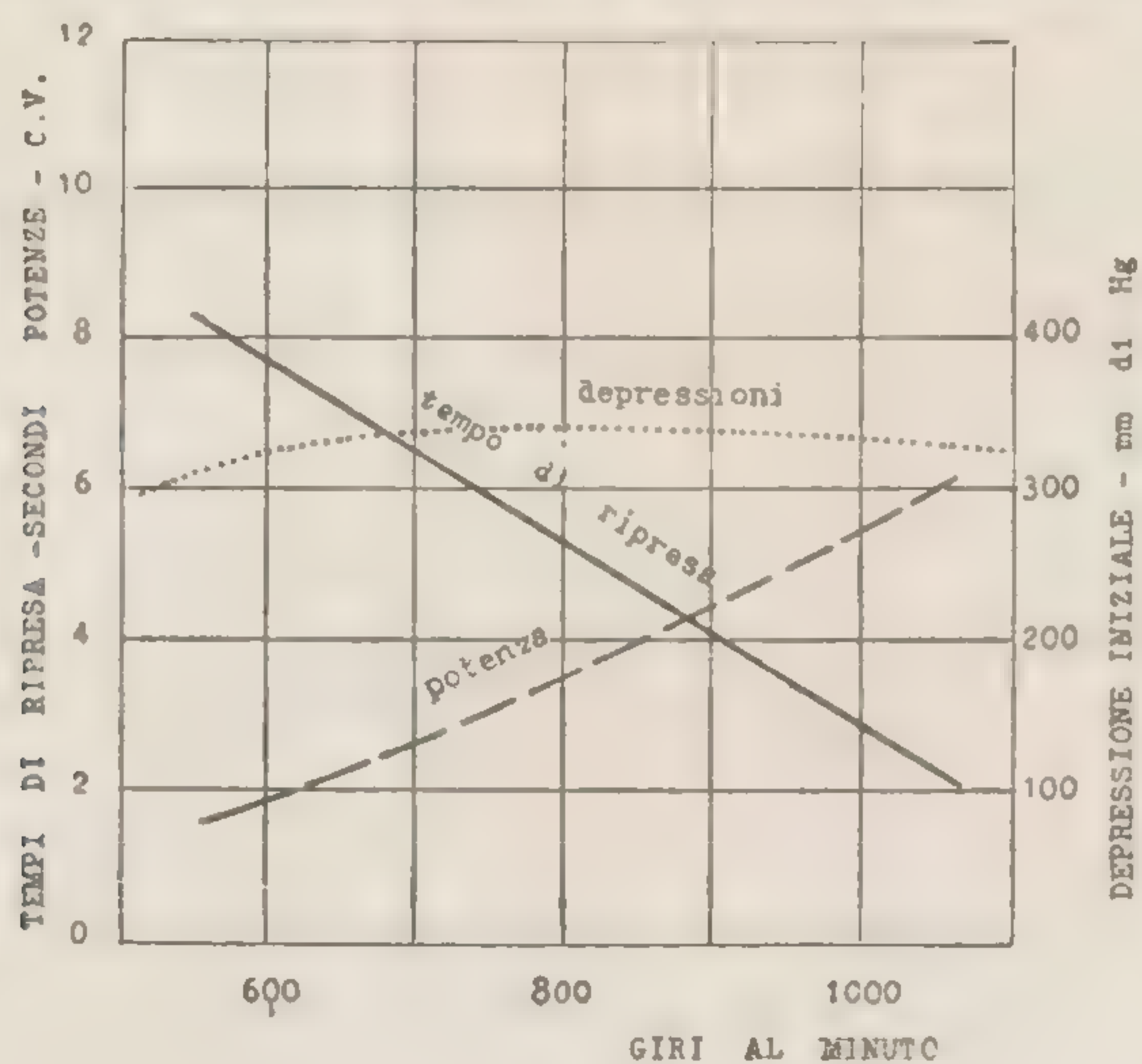



Fig. 10.

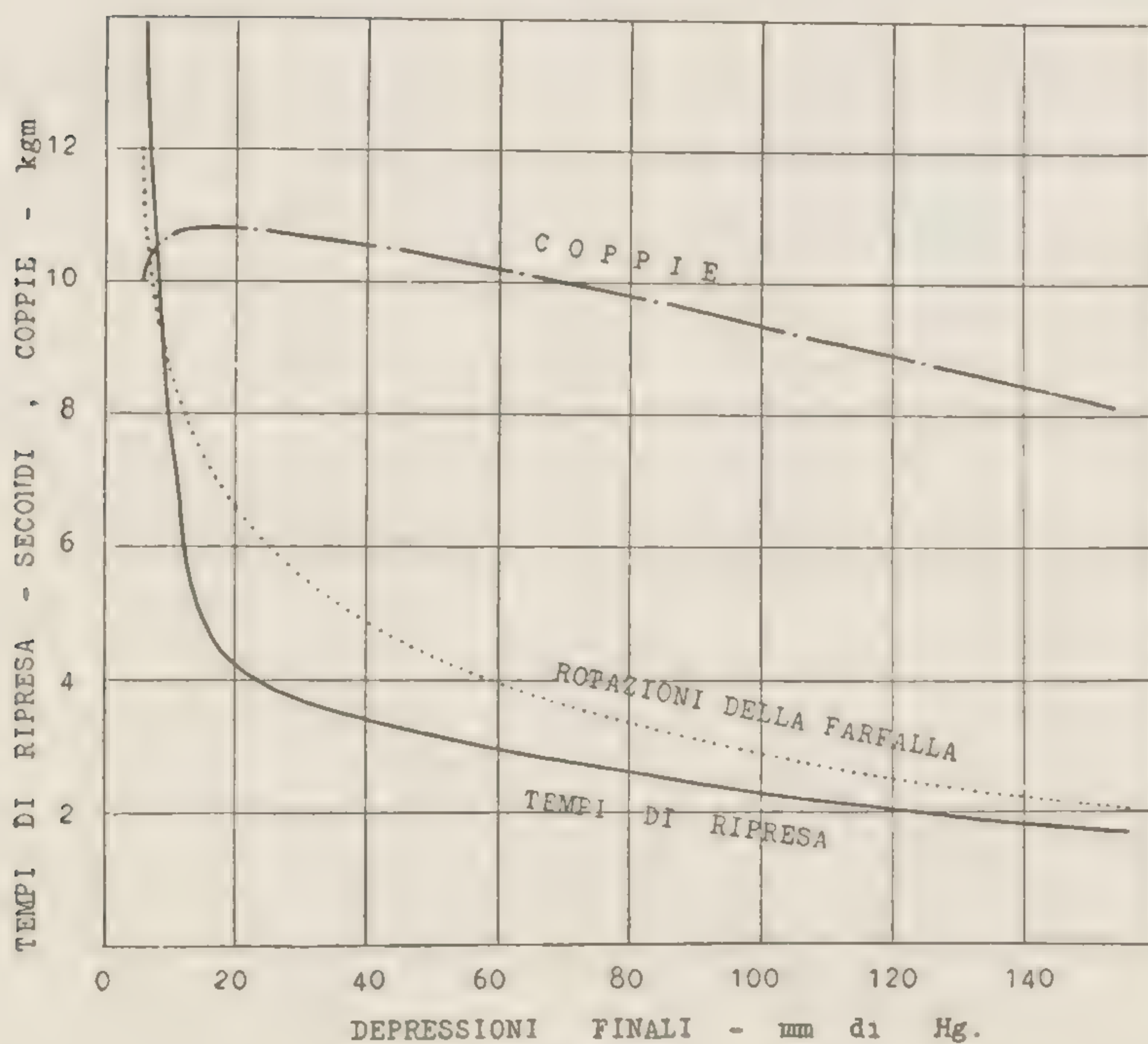



Fig. 11.

dell'acceleratore in pochi decimi di secondo (massima carica della molla dell'apparecchio descritto) ed estesa dalla posizione corri-

spondente a 800 giri, 3.4 kgm, 3.8 cv. del motore (depressione 340 mm di Hg) fino alla completa apertura della farfalla (depressione 5 mm a 800 giri). La velocità finale per la misura del tempo di accelerazione è stata fissata in 2200 giri.

Tutte le misure di accelerazione sono state ripetute almeno quattro volte consecutive e nei diagrammi ne sono state portate

COPPIA MOTRICE - kgm. RAPPORTO DI MISCELA

RAPPORTO DI MISCELA

COPPIA MOTRICE

GIRI AL MINUTO

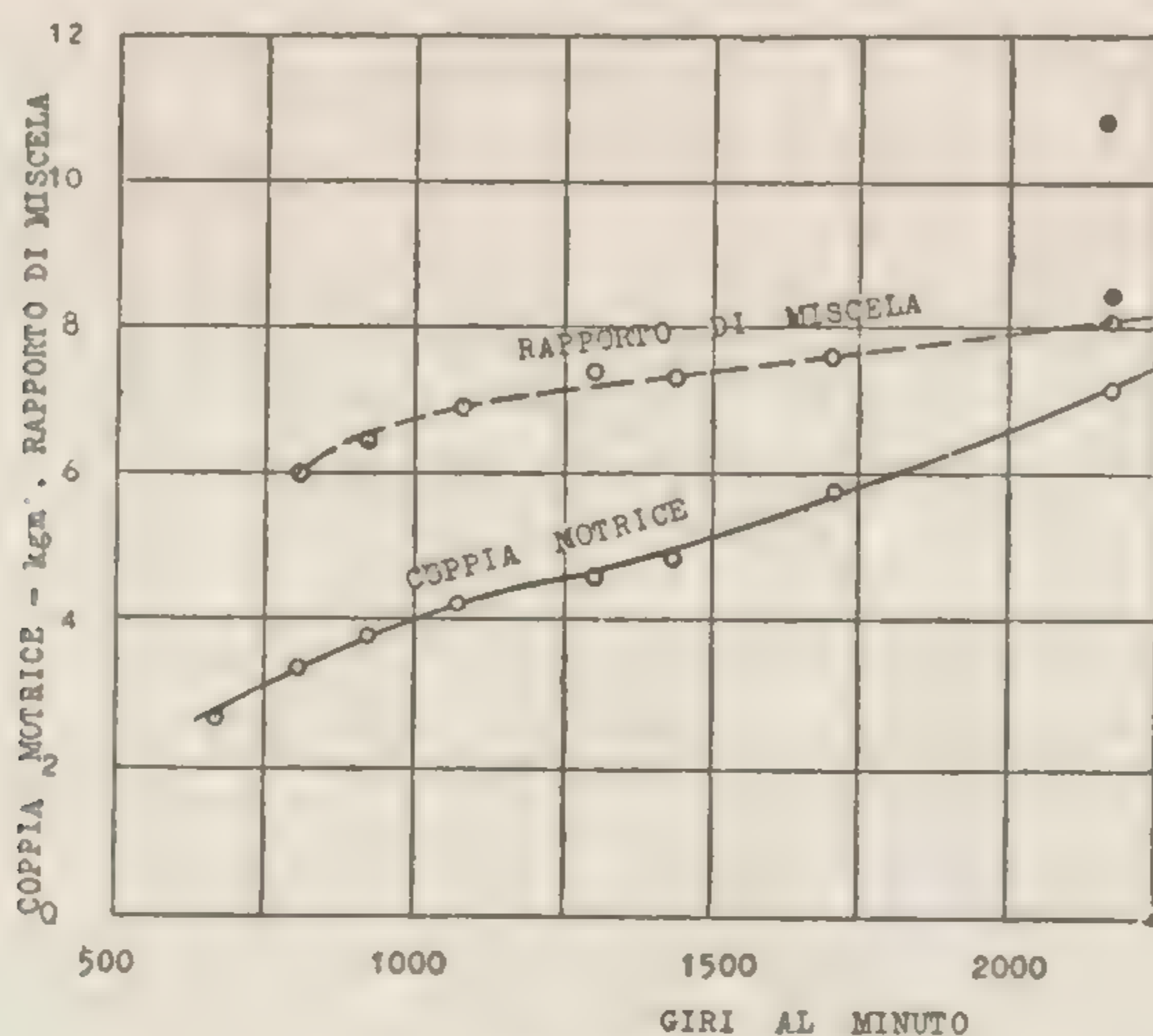



Fig. 12.

le medie aritmetiche. Ciononostante, come si vedrà dalle figure 14, 15 e 17, che contengono non solo le linee ma anche i singoli punti, questi risultano spesso alquanto dispersi.

Altri lavori preliminari hanno avuto lo scopo di precisare agli effetti della presente ricerca alcune relazioni, come quelle tra la coppia resistente ed il numero di giri del freno a partire dalla posizione scelta come iniziale (caratteristica del freno: linea piena della fig. 12), fra la dosatura della miscela e lo stesso numero di giri (linea tratteggiata della fig. 12) [1] e fra il rendimento e la pressione media effettiva a velocità costante (2200 giri) ed a piena apertura del carburatore, per ciascuno dei quattro carburanti adottati (fig. 13).

Il rapporto di miscela essendo alquanto variabile colla velocità e col carico, per ciascun caso si sono misurati i rapporti

[1] I due circoletti neri isolati si riferiscono invece al regime di piena apertura del carburatore, quando la coppia sale al suo valore di regime (circa 11 kgm) e per conseguenza la dosatura subisce pure una variazione per quanto leggera.

aria-carburante nelle quattro condizioni seguenti: iniziale (a 800 giri); a 2200 giri sotto il carico dato a questa velocità dal freno (7,2 kgm); a 2200 giri a pieni gas; e, finalmente, a 800 giri pure a pieni gas. L'influenza più diretta sulla accelerazione è evidentemente esercitata dalla dosatura nei regimi di piena apertura

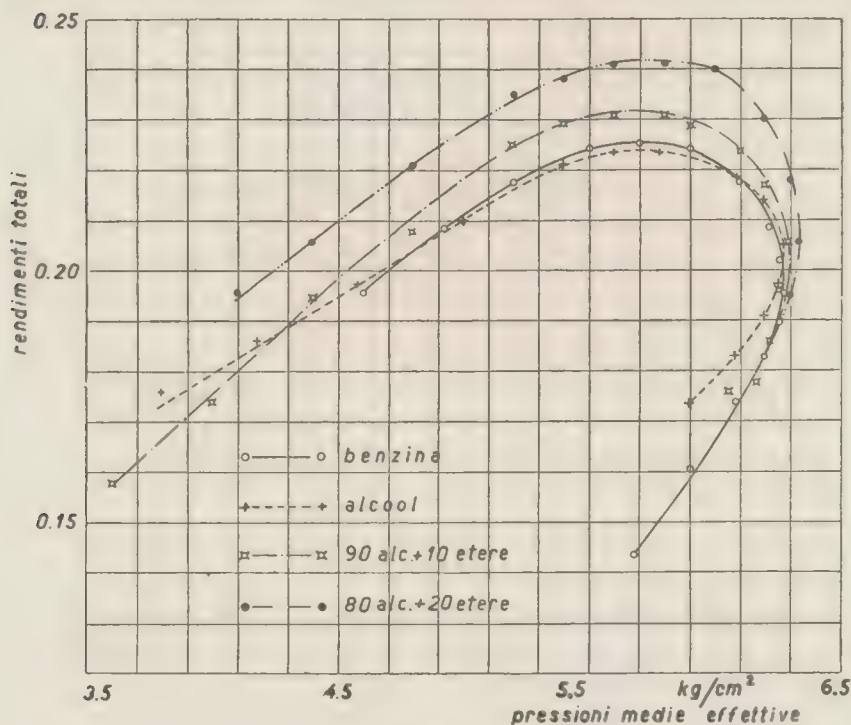



Fig. 13.

del carburatore, mentre la dosatura iniziale può esercitare una qualche influenza nei primi istanti dopo l'apertura. Nei diagrammi che verranno riportati la dosatura scelta è quella a 2200 giri a pieni gas.

6. Risultati delle prove. — Uno sguardo alla fig. 14 mostra l'analogia di andamento delle curve relative a tutti e quattro i carburanti, e la sensibile vicinanza di esse: per tutti, il tempo di ripresa tende a zero quando la miscela ha intorno al 25 % di difetto d'aria rispetto alla miscela chimicamente corretta. Entro l'intervallo compreso fra il 20 % di difetto ed il 10 % di eccesso d'aria il tempo di ripresa appare funzione lineare del rapporto aria-carburante; esso tende all'infinito (ossia manca la ripresa)

per un eccesso d'aria intorno al 20 %, eccesso che per tutti i carburanti è alquanto inferiore al massimo ammissibile nel funzionamento a regime. L'esame comparativo delle 4 curve mostra come l'alcool puro e la benzina non diversifichino fra loro in misura apprezzabile: alquanto più lenta a parità di dosatura sembra la

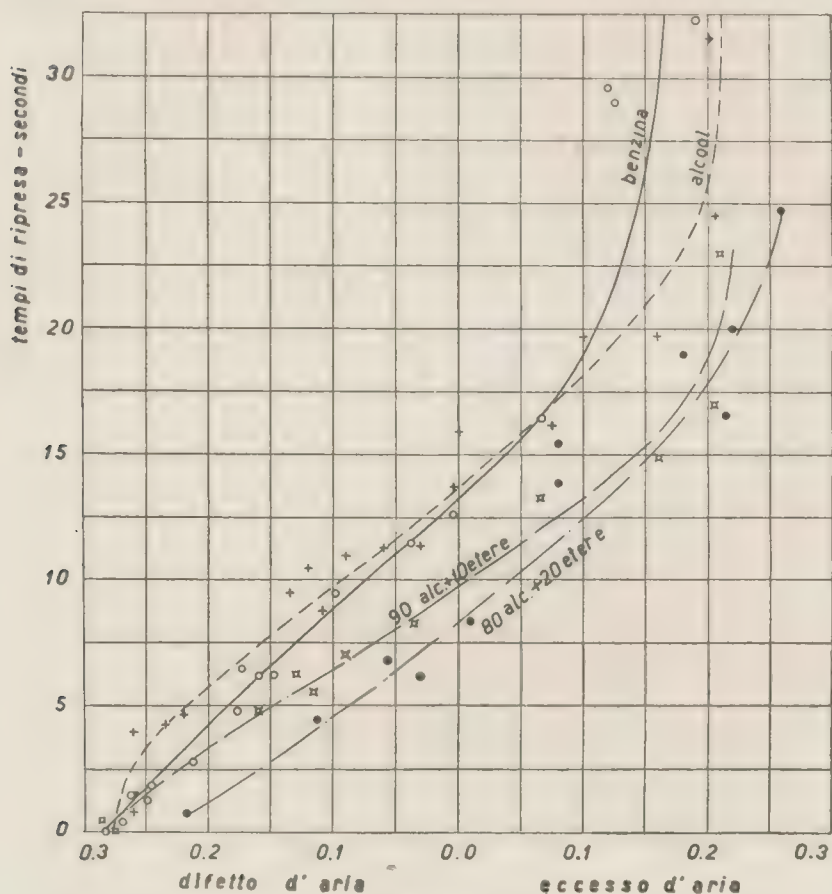



Fig. 14.

ripresa dell'alcool nel campo delle miscele ricche, più rapida di quella della benzina nel campo delle miscele povere. L'aggiunta di etere all'alcool abbrevia nettamente il ritardo alla ripresa, però poca differenza si sente nel passaggio dalla miscela contenente il 10 % di etere a quella che ne contiene il 20 %.

Nella fig. 15 le ordinate sono i tempi di accelerazione, anzichè di ripresa. Prescindendo dalle riserve che potrebbero essere avanzate constatando la maggior dispersione dei punti rappresenta-

tivi dei risultati sperimentali, dispersione giustificata dalle considerazioni accennate nel par. 2, notiamo che rispetto ai tempi di accelerazione il comportamento dei carburanti alcoolici resta

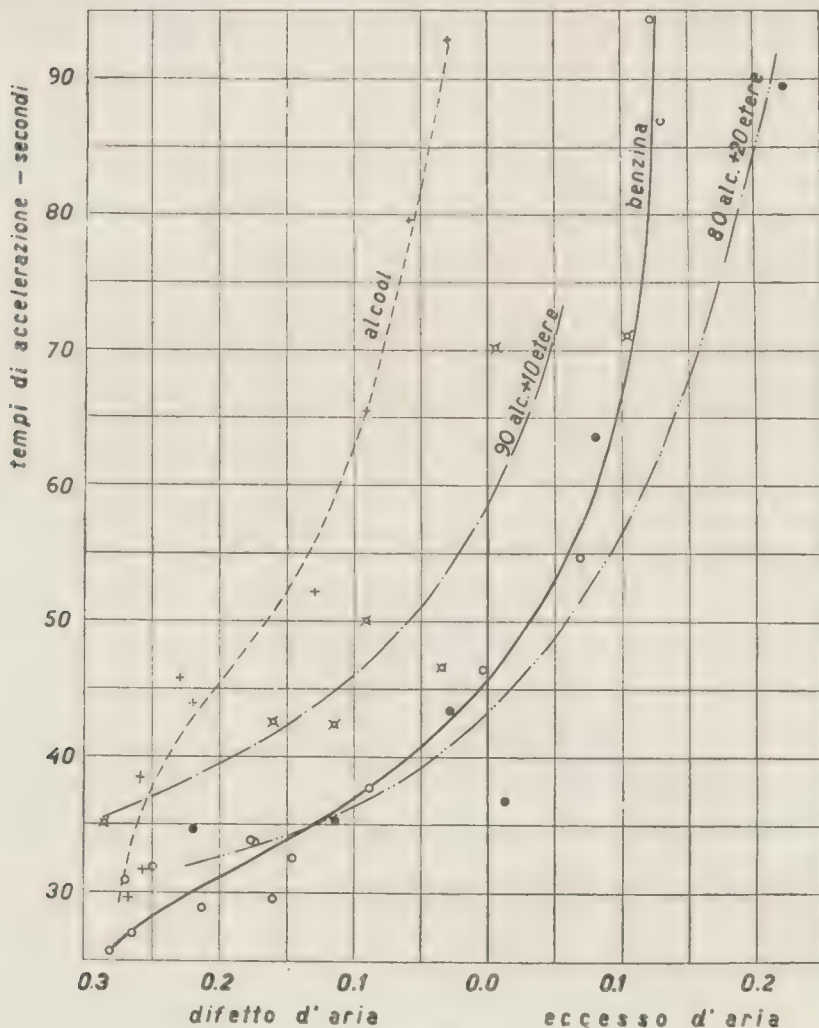



Fig. 15.

meglio differenziato sia da quello della benzina sia dall'uno all'altro di essi a seconda dei vari tenori di etere. Per l'alcool puro il tempo di accelerazione è pressochè doppio a parità di dosatura di quello della benzina: l'aggiunta del 10 % in peso di etere dimezza all'incirca l'intervallo fra le due curve; l'aggiunta del 20 % porta la miscela in condizioni che eguagliano quelle della benzina nel campo

delle dosature ricche e in condizioni anche superiori ad essa nel campo delle dosature povere. Il limite inferiore del tempo di accelerazione corrisponde all'immediato raggiungimento ed al successivo mantenimento della coppia motrice di regime: nelle condizioni delle prove attuali esso è stato calcolato in 22-33 secondi al variare della coppia di regime da 12 a 10 kgm [1]. Le dosature limiti oltre a cui, in seguito alla brusca apertura del carburatore non si riesce a raggiungere la velocità di 2200 giri, che pure è raggiungibile con un'apertura opportunamente graduata, appaiono molto diverse da caso a caso: corrispondono al 0 % d'eccesso d'aria per l'alcool puro, al 12 % per la benzina, al 20 % e fors'anche più per la miscela alcool-etere al 20 %.

Il diverso comportamento dell'alcool dopo l'apertura del carburatore, rispetto alla benzina, risulta chiaramente dall'analisi dell'andamento delle coppie motrici, di cui abbiamo mostrato un esempio nella fig. 2. In tutti i casi la coppia dopo essere più o meno prontamente salita ad un valore prossimo a quello di regime, ricade alquanto, ed il fenomeno potrebbe spiegarsi col maggiore raffreddamento delle pareti che ha luogo in seguito alla maggiore evaporazione del carburante prima condensato, quando cresce la velocità del motore e quindi è più attiva la corrente. La ricaduta per l'alcool è più forte assai che per la benzina, ciò che nel quadro dell'ipotesi esplicativa precedente è giustificato dal maggior calore di vaporizzazione.

Combinando i risultati sperimentali, che hanno portato alle due figure 13 e 14, si sono costruite le curve della fig. 16, che mettono in immediato raffronto l'economia di calore (rendimento) col tempo di ripresa. Si vede che per avere tempi di ripresa egualmente piccoli (da 0 a 2 sec.) occorrono per l'alcool e per la sua miscela col 10 % di etere registrazioni del carburatore che dànno luogo a rendimenti sensibilmente minori che colla benzina (rispet-

---

[1] Supponendo che la coppia resistente al freno sia rappresentata dall'equazione lineare

$$C_r = a + b\omega$$

e che la coppia motrice abbia il valore costante C_m, il tempo di accelerazione risulta espresso dalla formula:

$$Z_a = \frac{J}{b} \ln \frac{C_m - C_{r1}}{C_m - C_{r2}} ;$$

nel nostro caso $J = 1$ kg . m . s²; $b = 0{,}026$ kg . m . s.; $C_{r1} = 3{,}4$ kgm e $C_{r2} = 7{,}2$.

tivamente del 10 e del 15 % circa), mentre per sfruttare i rendimenti massimi, che sono poco diversi per ciascuno dei tre carburanti nominati, occorrono registrazioni che dànno riprese pressochè egualmente differite (10 ÷ 12 sec.). La miscela col 20 % di etere invece si trova in netto vantaggio su tutte le altre tre in tutto il campo.

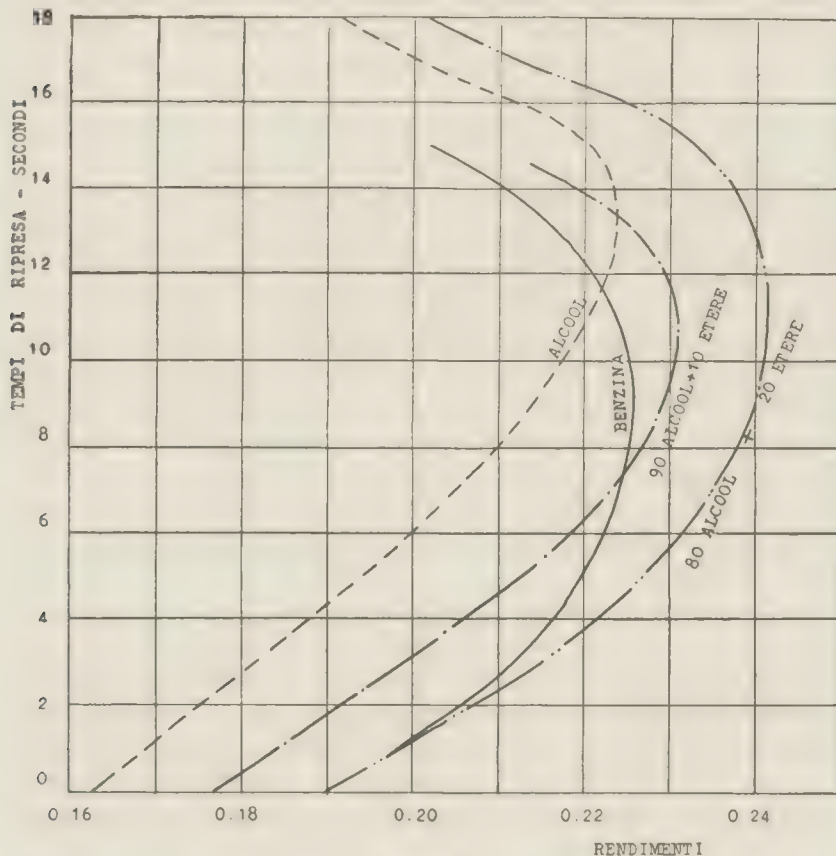



Fig. 16.

Nella fig. 17 è mostrata l'influenza della temperatura della tubazione aspirante per le tre miscele carburate seguenti: benzina coll'8 % di difetto d'aria, alcool ed alcool-etere (al 10 %) col 12 % di difetto d'aria. È degno di nota il diverso andamento delle curve nel campo delle basse temperature: al disotto dei 40° C il tempo di ripresa sembra stabilizzarsi per l'alcool e per la sua miscela coll'etere, mentre accenna a salire ancora colla benzina. Il fenomeno non sembra di facile spiegazione e ad ogni modo, per

quanto le esperienze siano state assai numerose, come si vede dall'abbondanza dei punti segnati nella figura, merita ulteriore conferma sperimentale.

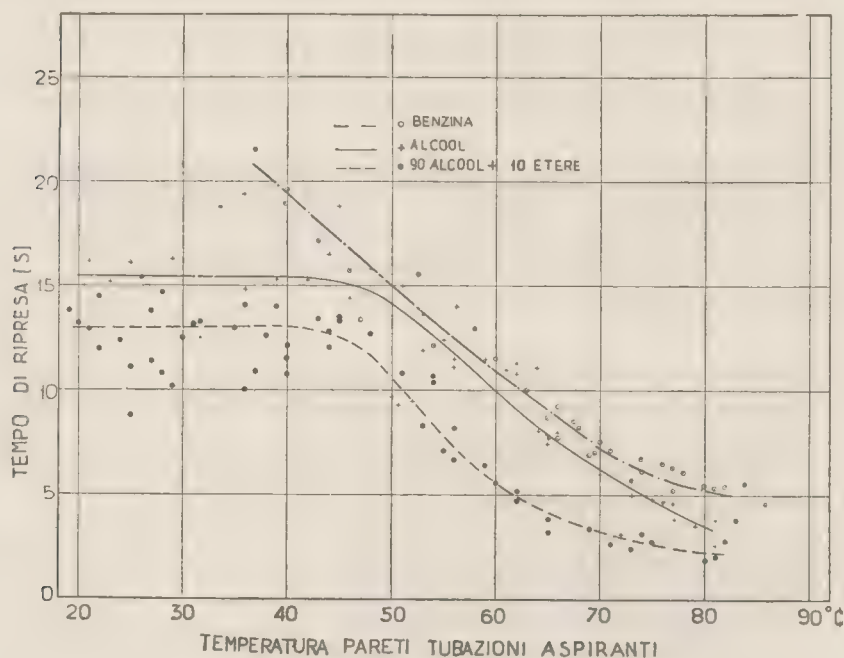



Fig. 17.

7. Conclusione. — Limitatamente al confronto dell'alcool, eterificato o meno, colla benzina, possiamo trarre dalle nostre esperienze le seguenti conclusioni:

I. La ripresa è egualmente rapida, o lenta, secondo le dosature, coll'alcool anidro e colla benzina.

II. L'aggiunta del 10 % in peso di etere pone la miscela alcoolica in condizioni di superiorità sulla benzina per quanto riguarda la ripresa. Ulteriori aggiunte di etere non producono sensibili miglioramenti ulteriori della ripresa.

III. L'accelerazione è molto più lenta coll'alcool che colla benzina: per avvicinarsi al comportamento di questa occorrono aggiunte di etere in proporzione prossima al 20 % in peso.

SIMONE BAYAN

INGEGNERE DELLA SEZIONE COMBUSTIBILI DEL R. POLITECNICO DI MILANO

Correlazione fra le caratteristiche chimiche, fisiche e termiche dei carburanti alcoolici di sostituzione ed il loro comportamento nei motori.

RIASSUNTO. — *Si riassumono i criteri fondamentali di valutazione delle benzine in base alle prove di laboratorio. Non risulta se ed in quale misura i medesimi criteri siano adottabili anche nel caso dei carburanti di sostituzione dato il carattere poco sistematico delle ricerche finora eseguite in materia.*

Sono stati esaminati 17 tipi differenti di carburanti di sostituzione composti di benzina, metanolo, etanolo, benzolo, etere, tetralina, olii leggeri di catrame, in diverse proporzioni.

I risultati delle prove di laboratorio e di quelle al banco su tre tipi differenti di motori sono riassunti in tabelle e diagrammi.

Dal confronto delle due serie di prove ed in base alla composizione chimica si traggono delle conclusioni pratiche circa la valutazione dei carburanti di sostituzione.

L'analisi di un carburante destinato ai motori a scoppio ha il compito di prevedere in laboratorio il futuro comportamento del carburante durante il deposito e durante l'uso nel motore, e comprende oltre le determinazioni fondamentali di densità e potere calorifico, una serie di prove chimiche, fisiche e termomeccaniche che esulano dal campo delle comuni determinazioni analitiche.

Le modalità di tali prove ed i relativi apparecchi sono scaturiti da numerosi studi sperimentali e teorici eseguiti da diversi autori con lo scopo di chiarire sempre più l'influenza della natura chimico-fisica del carburante sul funzionamento del motore, e di stabilire il rapporto esistente fra le proprietà chimico-fisiche dei carburanti ed il loro comportamento pratico.

Esiste una vastissima letteratura in gran parte americana dedicata principalmente alle benzine pure.

Accennerò agli studi importanti di Brown (1) e collaboratori sulla volatilità effettiva, sulla tensione di vapore, a quelli altrettanto importanti di Bridgeman (2, 2 *bis*) sulla distillazione in equilibrio con aria, sul punto di rugiada (dew-point); a quelli di Egloff (3) sulle gomme ed infine a quelli importantissimi di Boerlage (4) e del Cooperative Fuel Research Committe (5) sulla detonazione e sulla misura del potere antidetonante.

Da questi studi scaturiscono delle conclusioni di notevole importanza pratica che, data la somiglianza delle benzine nelle loro proprietà chimiche, fisiche e termiche, sono anche di portata generale che autorizzano ormai di giudicare a priori in modo abbastanza sicuro con semplici prove eseguite in laboratorio, il valore pratico delle benzine e di fare delle previsioni circa il loro comportamento nei motori.

I carburanti di sostituzione.

La sostituzione parziale e totale della benzina con altri carburanti nazionali, non di origine petrolifera, impostasi con particolare intensità in questi ultimi anni per supreme esigenze autarchiche, fa sorgere il problema della valutazione dei carburanti di sostituzione, il quale si presenta sotto un aspetto tecnico ed economico differente.

Infatti, dato il carattere autarchico-nazionale del problema, qualunque combustibile liquido capace di essere fabbricato entro i limiti della Patria e rispondente ad alcuni requisiti fondamentali può essere accettato come carburante per i motori terrestri, anche se non presenta tutte le caratteristiche indispensabili per un carburante perfetto.

In secondo luogo occorre sempre tenere presente che, se si prescinde dalla tassa governativa, nessun succedaneo può competere con la benzina in fatto di costo, e che, solamente in caso di estrema necessità, quando ragioni politiche esigono di trascurare il fattore economico, può essere contemplata la possibilità di largo uso dei carburanti di sostituzione.

Perciò la valutazione dei carburanti di sostituzione, dal punto di vista del loro uso nei motori, si fa in base a criteri meno rigorosi; vanno però considerati alcuni specifici problemi tecnici, che derivano dalla loro particolare struttura chimica e dalle proprietà chimico-fisiche, profondamente differenti da quelle della benzina.

Tutti questi problemi quali: miscibilità (12, 13), igroscopicità (16), caratteristiche di funzionamento dei motori (11, 13) ecc. in gran parte già noti, sono stati affrontati da numerose ricerche e oggi, tutti più o meno trovano la loro adeguata soluzione pratica.

Però non risulta da queste ricerche se ed in quale misura le relazioni fra le prove di laboratorio ed il funzionamento del motore trovate per le benzine sieno valide anche per i carburanti di sostituzione, sia per il carattere poco sistematico delle ricerche stesse, dato l'interesse limitato dei carburanti di sostituzione, sia per la grande varietà che questi presentano; per cui risulta meno facile fissare delle norme generali di valutazione e delle limitazioni, come per le benzine.

Nel corso degli ultimi anni ho avuto occasione di analizzare per incarico del Ministero delle Corporazioni nella Sezione Combustibili del Politecnico di Milano, una serie di carburanti di sostizione, determinandone le principali caratteristiche secondo i metodi adottati per le benzine, e mettendo queste in relazione con i dati e le osservazioni ottenute dalle prove su motori al banco con i medesimi carburanti.

Dal complesso delle prove fatte e dal confronto dei risultati ottenuti nelle due serie di prove, quelle di laboratorio e quelle al banco, sono scaturite alcune osservazioni pratiche circa la valutazione dei carburanti di sostituzione in base alle determinazioni di laboratorio, che fanno oggetto della presente memoria.

Parte sperimentale.

A) **Prove e determinazioni di laboratorio.**

Le proprietà dei carburanti esaminati che comprendono 14 miscele differenti composte di benzina, etanolo, metanolo, benzolo, etere, tetralina, olii leggeri di catrame in diverse proporzioni sono esposte nella Tabella I.

Le composizioni furono determinate caso per caso; l'etere in presenza di benzina fu separato per distillazione ad alto grado di frazionamento e determinando nel distillato, mediante l'indice di rifrazione le tracce delle frazioni leggere di benzine passate. Nel caso dell'alcool eterificato contenente solo alcool, etere e acqua fu usato il metodo della temperatura d'intorbidamento per aggiunta di eptano (14).

Gli alcooli furono separati dal resto degli olî minerali per agitazione con soluzione di cloruro di calcio, distillando poi l'estratto e analizzando il distillato alcoolico. Sul residuo dell'estrazione costituito da olî minerali furono eseguite poi la distillazione frazionata e le determinazioni degli idrocarburi non saturi, aromatici, delle paraffine e cicloparaffine per poter stabilire la probabile origine e la composizione dell'olio minerale.

Le densità furono determinate con la comune bilancia di Westphal, il potere calorifico e lo solfo nella bomba calorimetrica Mahler e le distillazioni frazionate furono eseguite nell'apparecchio normale di Engler.

Volatilità, gomme, potere antidetonante. — Nella stessa tabella sono riportate le principali caratteristiche che interessano dal punto di vista carburantistico cioè: volatilità, contenuto in gomme, e potere antidetonante.

La *volatilità* definita principalmente dalla distillazione frazionata e dalla tensione di vapore, determina l'andamento dell'alimentazione del motore. Sono state considerate oltre l'inizio e la fine della distillazione, le temperature corrispondenti al 10 %, 50 % e 90 % di distillato, che sono i punti caratteristici della curva di distillazione e permettono di prevedere la facilità alla partenza, la ripresa e la rapidità della messa a regime, le eventuali combustioni imperfette e perdite di potenza. Tali punti sono stati determinati per i vari carburanti per interpolazione dei dati di distillazione frazionata.

La tensione di vapore che oltre ad influire sulla volatilità e sulla velocità di vaporizzazione permette di fare delle previsioni sulla tendenza al tampone di vapore (vapor lock) venne determinata — come d'uso — nell'apparecchio di rame Reid a 37° 8 (100° F).

La determinazione delle *gomme attuali* è stata eseguita col metodo convenzionale del getto d'aria (8, 9) che è quello che si è giudicato il più riproducibile e rispondente al reale comportamento delle benzine; consiste nel far evaporare a bagno maria 25 o 50 cc. di carburante in capsula di vetro facendo contemporaneamente arrivare un getto d'aria diretto verticalmente alla superficie del liquido.

Le *gomme potenziali* furono determinate facendo evaporare a bagno maria 100 cc. di carburante in capsula di rame perfettamente levigata (7) che per azione catalitica accelera la formazione delle gomme e pesando poi il residuo.

Tabella I. — **CARATTERISTICHE CHIMICHE,**

Numero carburante	COMPOSIZIONE DEL CARBURANTE	Densità	Potere calorifico superiore (Mahler)	Solfo %
I	Benzina	0,730 (15° C)	11185	0,12 %
I *bis*	Benzina + 14,3 % alcool . .	0,7318 (15° C)	10515	0,10
II	40,5 % benzolo . . . . . . 32,5 % alcool assoluto . . . 27 % di oli (150°-300°) . .	0,835 (25° C)	9255	0,29
III	21 % etere etilico . . . . . 79 % alcool 95 %	0,7925 (22,5° C)	7010	tracce
IV	Etere 35 % . . . . Alcool ass. 41 % . . . . . . Tetralina 24 %	0,796 (24° C)	8365	0,095
V	Alcool ass. + 3-4 % olio . . (120°-300°)	0,7973 (23° C)	7015	0,085
VI	30 % etere . . . . 46 % alcool ass. . . . . . . 24 % benzolo + tetralina . .	0,799 (19° C)	8230	0,12
VII	48 % benzina . . . . 32 % alcool etilico . . . . . 20 % alcool metilico	0,7605 (15° C)	8485	0,12
VIII	95 % alcool metilico . . . . 5 % nafta leggera	0,8128 (15° C)	5650	0,14
IX	53 % benzina . . . . 47 % alcool	0,7592 (15° C)	9160	0,18
X	60 % benzina . . . . 30 % alcool etilico . . . . . 10 % alcool metilico	0,7555 (15° C)	9270	0,19
XI	44,5 % benzolo comm. . . . 30 % alcool etilico . . . . . 25 % alcool metilico . . . . 0,5 % olii vari	0,8405 (15° C)	7975	0,22
XII	55 % benzolo e olii leggeri . 45 % alcool metilico 98 % . .	0,828 (25° C)	7850	0,40
XIII	Benzina.	0,7443 (28° C)	11000	0,11
XV	Alcool ass. per carbur. . . .	0,794 (17° C)	7100	0
XVI	80 % alcool . . . . 20 % etere	0,783 (17° C)	7420	0

CARATTERISTICHE FISICHE E TERMICHE

VOLATILITÀ						GOMME		POTERE ANTIDETONANTE
DISTILLAZIONE FRAZIONATA					Tensione di vapore Reid a 100° F. kg/cmq.	Attuali mgr/100 cc.	Potenziali mgr/100 cc.	Numero di ottano CFR
Inizio	10 %	50 %	90 %	Fine				
39°	**65°**	**115°**	**176°**	192° (97 %)	**0,436**	**13**	**20**	**62 (75)**
41°,8	**60°,5**	**84°**	**169°,5**	194° (96 %)	**0,500**	**12**	**19**	**65 (78)**
65°	**68°,2**	**70°**	**259°,5**	262° (94 %)	**0,215**	**imposs. a determin. p. scarsa vol.**	**imposs. a determin. p. scarsa vol.**	**82,5**
45°	**62°,2**	**77°,5**	**77°,7**	78° (95 %)	**0,367**	**0**	**0**	**89**
42°	**55°**	**75°**	**197°**	200° (92 %)	**0,429**	**102**	**505**	**75,5**
73°,5	**76°,5**	**77°,5**	**78°**	131° (97 %)	**0,130**	**22**	**181**	**99**
43°	**58°,2**	**72°,7**	**92°**	199° (94 %)	**0,271**	**44**	**440**	**83**
45°	61°	70°	79°	164° (98 %)	0,299	13	13	85,3
61°	65°,5	67°,5	72°	86° (99 %)	0,172	16,4	17,2	90
41°	64°,5	75°	143°	189° (98 %)	0,257	18,4	23,8	79
39°	59°	71°,5	147°	183° (99 %)	0,280	14,4	16,2	78,6
59°	62°,5	65°	74°	80° (99 %)	0,165	12	—	90
54°	**60°**	**62°,7**	**80°**	148° (95 %)	**0,333**	**66,8**	**136**	**87**
38°	**64°,5**	**110°**	**179°**	196°,5 (96 %)	**0,427**	**4**	**15**	**66 (79,5)**
72°	**77°,2**	**78°C**	**78°,5**	79°,5 (98 %)	**0,170**	**0**	**0**	**99**
49°	**62°**	**77°,7**	**78°,6**	79°,5 (96 %)	**0,347**	**0**	**0**	**88,5**

Quest'ultima prova permette inoltre di vedere la corrosività del carburante per la presenza di composti solforati che lasciano sulla superficie della capsula anelli grigi di solfuro.

Infine il *potere antidetonante* che è la qualità che meglio caratterizza un carburante in quanto indica gli aumenti di potenza e di rendimento che si possono ottenere per aumento del rapporto di compressione fu determinato sul motore CFR Motor Method secondo le norme dell'ASTM.

B) Prove sui motori.

Motori usati. — Dopo le prove chimiche e fisiche di laboratorio, i carburanti in prova furono sottoposti alle prove al banco in massima parte su due tipi di motori dalle seguenti caratteristiche:

Motore Alfa Romeo RL: N. 6 cilindri in linea; alesaggio 75 mm.; corsa 110 mm.; cilindrata totale cc. 2915; rapporto di compressione: $r = 5{,}28$; $r = 6{,}80$.

Motore Bianchi S 9: N. 4 cilindri in linea; alesaggio 70 mm.; corsa 100 mm.; cilindrata totale cc. 1540; rapporto di compressione: $r = 5{,}50$; $r = 7{,}01$.

Potenze e consumi. — Per ogni motore si è determinata la potenza di 500 in 500 giri con alimentazione a benzina pura e successivamente con i carburanti in prova, con freno dinamometrico Froude tipo DPX_3; i consumi furono calcolati, come di consueto, in base al tempo impiegato a consumare il carburante contenuto in appositi palloni tarati.

Tutti i carburanti furono provati con due rapporti di compressione a fine di constatare l'eventuale variazione delle caratteristiche funzionali del motore. Sono state fatte anche le necessarie osservazioni riguardanti il funzionamento del motore, cioè: la facilità di partenza del motore a freddo, la ripresa e le eventuali detonazioni od autoaccensioni nelle condizioni di carburazione indicate più avanti.

Alla fine di ogni prova e dopo lo smontaggio del motore si sono ispezionati gli organi interni per rilevare lo stato in cui si trovavano la camera di combustione, le valvole, i cilindri, gli eventuali depositi, corrosioni, ecc.

La Tabella II raccoglie i dati di potenza e di consumo ottenuti con alcuni tipi più rappresentativi fra i carburanti esaminati, mentre le figure N. 1, 2, 3, 4, 5 e 6 riassumono le rela-

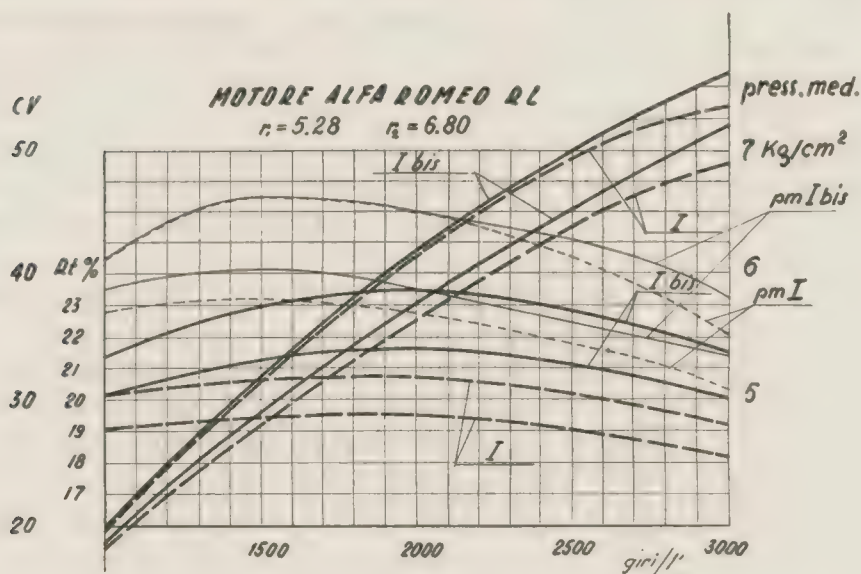



Fig. 1. — Regolazione del carburatore.
(*I*): $G = 125$; $M = 50$; $D = 26$; $g = 64$ gr. — (*I bis*): $G = 130$; $M = 55$; $D = 26$; $g = 70$ gr.
Osservazioni al motore
(*I*): funzionamento normale. — (*I bis*): funzionamento normale.

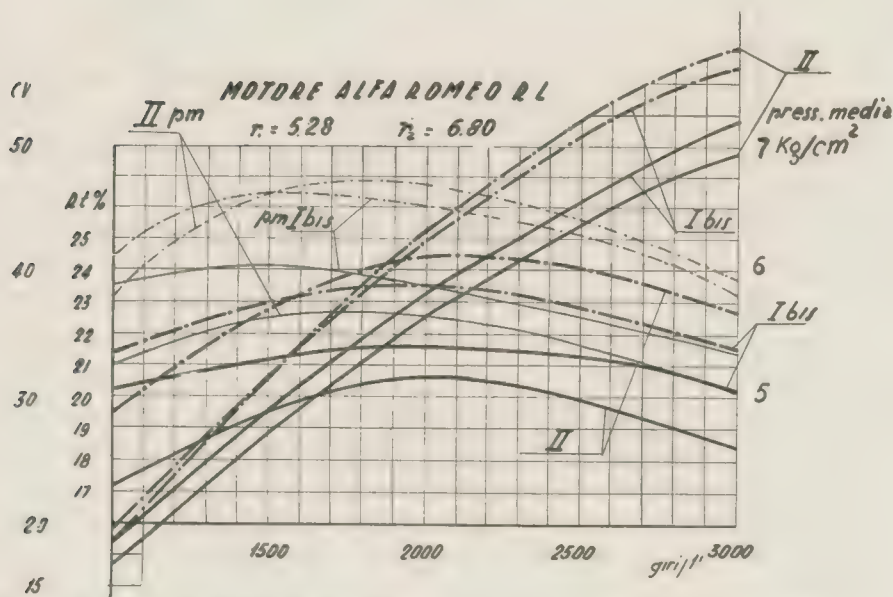



Fig. 2. — Regolazione del carburatore. - (*II*): $G = 140$; $M = 55$; $D = 26$; $g = 90$ gr.
Osservazioni al motore: partenza e ripresa appena sufficienti, deboli autoaccensioni ad alto rapporto di compressione (6,80) e a motore caldo - incrostazioni notevoli sulle valvole e nella camera di combustione.

TABELLA II. — POTENZE E CONSUMI SPECIFICI

Carburante	Tipo di motore e carburatore	Rapporto di compressore	1000 giri/1'			1500 giri/1'		
			CV	gr/CVO	R_t %	CV	gr/CVO	R_t %
I	[1] Motore Alfa Romeo RL Carburatore Solex M. V.	5,28	18,5	295	19,2	28,2	290	19,5
		6,80	19,8	278	20,3	32,0	273	20,7
Ibis		5,28	18,9	297	20,28	29,3	282	21,27
		6,80	19,8	280	21,48	32,0	262	22,97
II		5,28	17,0	398	17,2	27,4	345	19,8
		6,80	18,7	350	19,5	32,0	300	22,7
III		5,28	18,3	532	16,95	32,4	415	21,65
		6,80	19,1	493	18,32	33,5	398	22,67
V		5,28	18,5	475	18,9	29,5	412	22,0
		6,80	18,9	450	20,1	30,8	385	23,4
XIII	Motore Bianchi S9 Carburatore Solex 30 I. F.	5,50	9,85	378	15,05	15,2	356	16,1
		7,01	10,4	372	15,6	16,7	348	16,85
XV		5,50	—	—	—	16,2	535	16,65
		7,01	—	—	—	17,8	510	17,5
XVI		5,50	—	—	—	16,3	494	17,3
		7,01	—	—	—	18,25	502	17,0

[1] Le prove sul motore Alfa Romeo RL sono state eseguite nel Laboratorio di Meccanica al quale rivolgo sentiti ringraziamenti.

OTTENUTI CON CARBURANTI AD ANDATURE DIVERSE

2000 giri/1'			2500 giri/1'			3000 giri/1'			3500 giri/1'		
CV	gr/CVO	R_t %	CV	gr/CVO	R_t %	CV	gr/CVO	R_t %	CV	gr/CVO	R_t %
36,7	288	19,6	43,9	295	19,2	49,0	308	18,3	—	—	—
42,0	272	20,8	49,5	278	20,3	53,5	291	19,4	—	—	—
38,0	278	21,6	45,5	283	21,22	52,0	296	20,26	—	—	—
42,4	255	23,56	50,7	262	22,73	56,0	278	21,55	—	—	—
36,4	330	20,7	43,8	343	19,8	49,0	370	18,5	—	—	—
43,1	280	24,5	51,8	285	24,2	57,5	302	22,7	—	—	—
40,8	407	22,2	47,5	420	21,5	53,0	446	20,4	—	—	—
43,8	385	24,75	52,0	385	23,45	56,0	422	21,4	—	—	—
38,8	384	23,5	45,1	405	22,25	49,5	462	19,5	—	—	—
40,7	369	24,45	48,8	389	23,5	54,4	420	21,5	—	—	—
22,3	313	18,2	28,5	277	20,55	32,7	270	21,0	35,0	272	20,9
24,8	290	20,0	32,0	260	22,3	36,0	254	22,9	37,2	269	21,5
—	—	—	29,2	417	21,4	—	—	—	34,7	425	21,0
—	—	—	32,1	394	22,6	—	—	—	36,1	409	21,8
—	—	—	28,9	397	21,56	—	—	—	35,3	399	21,4
—	—	—	33,3	372	22,95	—	—	—	39,1	380	22,4

Industriale del R. Politecnico di Milano sotto l'assistenza del Prof. Ing. MARIO SPELUZZI

Fig. 3. — Regolazione del carburatore. - (*III*): $G = 175$; $M = 55$; $D = 26$; $g = 90$ gr. Osservazioni al motore: partenza e ripresa buone, senza autoaccensioni e incrostazioni.

Fig. 4. — Regolazione del carburatore. - (*V*): $G = 170$; $M = 55$; $D = 26$; $g = 90$ gr. Osservazioni al motore: partenza e ripresa difficili, deboli autoaccensioni ad alto rapporto di compressione (6,80) leggere incrostazioni.

Fig. 5. — Regolazione del carburatore.
(*XIII*): $G = 125$; $D = 28$; $g = 23$ gr. — (*XV*): $G = 150$; $D = 25$; $g = 23$ gr.
Osservazioni al motore. - (*XIII*): funzionamento normale. - (*XV*): partenza e ripresa molto difficili - assenza di autoaccensioni, detonazioni e incrostazioni; cilindri asciutti.

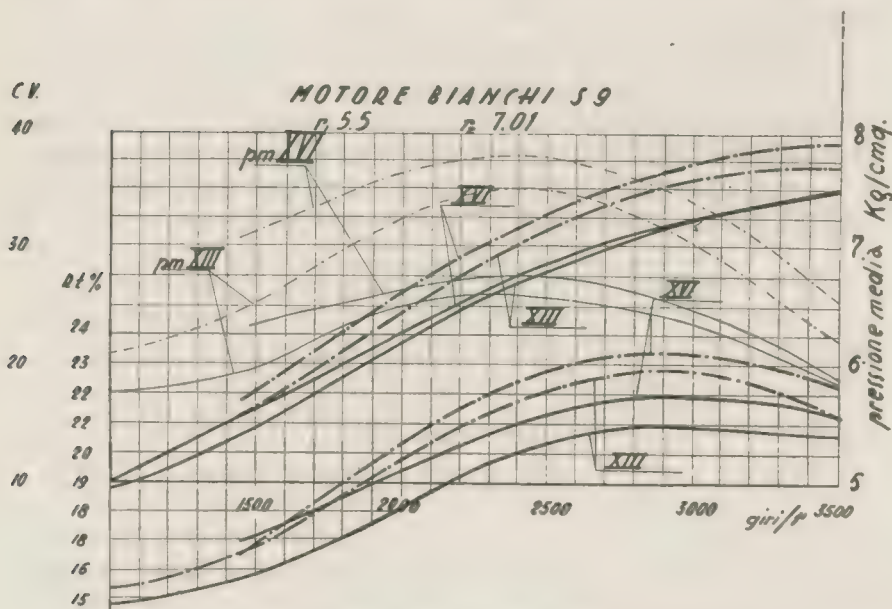



Fig. 6. — Regolazione del carburatore. - (*XVI*): $G = 145$; $D = 27$; $g = 23$ gr.
Osservazioni al motore: partenza e ripresa perfette, assenza di autoaccensione, detonazioni e di incrostazioni.

tive curve di potenza e di rendimento termico in funzione del numero dei giri. Sui medesimi diagrammi sono riportate anche le curve delle pressioni medie effettive. Inoltre sono indicati i valori del diametro del getto (*G*), del minimo (*M*), del diffusore (*D*) e del peso del galleggiante che competono alla carburazione migliore, e le osservazioni rilevate durante il funzionamento e dopo lo smontaggio del motore.

Regolazione del carburatore. — Trattandosi di carburanti con composizione chimica e proprietà differentissime, è stata curata con particolare attenzione la regolazione del carburatore, allo scopo di fornire al motore, per ciascuno dei carburanti, miscele con la ricchezza più opportuna e per ottenere potenze e rendimenti termici confrontabili.

La regolazione del carburatore è stata eseguita in modo da ottenere la carburazione corretta, cioè ricchezze di miscela del circa 5 % più grasse rispetto a quella individuata per il massimo rendimento termico [1].

Si è cercato in altre parole per successivi tentativi, modificando gradualmente gli elementi variabili del carburatore il noto compromesso pratico di buon funzionamento, in modo da ottenere elevati rendimenti termici senza diminuzione sensibile di potenza rispetto alla curva dei massimi.

A titolo di esempio nella tabella seguente sono indicati i dati di potenza e di rendimento ottenuti sul motore Alfa Romeo RL carburatore Solex M. V. alimentato col carburante XI con differenti registrazioni del carburatore a getti gradatamente crescenti:

1) Regolazione del carburatore: g. = 150, dif. = 26, galleggiante: gr. 86:

N°. giri/1'	CV	gr/CVO	Cal/CVO	R_t %
1000	20,0	393	3140	20,2
1500	30,2	374	2980	21,2
2000	38,7	372	2970	21,3
2500	45,5	396	3160	20,0
3000	49,0	417	3330	19,0

[1] Aumentando la ricchezza oltre questo punto, le potenze aumentano, ma si ha contemporaneamente un rapido abbassamento del rendimento termico. La carburazione di massima potenza è particolarmente utile per i motori da corsa, nei quali è richiesto di ottenere elevate potenze senza preoccuparsi dell'economia delle calorie consumate.

2) Regolazione del carburatore; g. = 160, dif. = 26, galleggiante: gr. 86:

N°. giri/1'	CV	gr/CVO	Cal/CVO	R_t %
1000	20,0	407	3240	19,5
1500	30,4	374	2980	21,2
2000	39,0	372	2968	21,3
2500	46,2	385	3070	20,6
3000	51,0	412	3280	20,25

3) Regolazione del carburatore: g. = 170, dif. = 26, galleggiante: gr. 86:

1000	20,0	461	3680	17,2
1500	30,7	407	3245	19,5
2000	39,2	411	3280	19,3
2500	47,0	430	3430	18,45
3000	51,5	445	3550	17,85

dove le potenze e i consumi sono riferiti all'aria tipo a 760 mm. e 15° C. È stata considerata migliore la registrazione intermedia (160 : 26) la quale permette di ottenere potenze quasi eguali a quelle ottenibili con la registrazione grassa (170) e rendimenti elevati vicini a quelli corrispondenti alla registrazione più magra (150).

In ogni caso si è controllata con l'apparecchio Orsat la composizione dei fumi.

Per ragioni di praticità richieste in particolare dalla necessità di semplici adattamenti dei carburatori dei motori in servizio sono stati variati gli elementi principali del carburatore quali: getto principale, diffusore, minimo, galleggiante, senza apportare modifiche di qualche entità alle caratteristiche costruttive dei carburatori.

L'anticipo di accensione più appropriato per ogni carburante e per ogni regime e la temperatura dell'acqua di circolazione più opportuna sono stati stabiliti di volta in volta.

Risultati di confronto fra le prove di laboratorio e le prove al banco.

1) *Registrazione del carburatore.* — Il calcolo matematico per stabilire la registrazione esatta di un carburatore in base alle caratteristiche chimiche fisiche del carburante è assai complicato e porta a risultati soltanto approssimativi, poichè sono numerosissimi i fattori che dominano le leggi di efflusso e di vaporizzazione nelle condizioni di carburazione e la loro valutazione globale risulta praticamente impossibile (15). Sta di fatto che le modificazioni da apportare al carburatore registrato in modo da alimentare con benzina, quando questa viene sostituita da un altro carburante, sono in rapporto con l'entità delle differenze di potere calorifico, densità e viscosità che il carburante in prova presenta rispetto alla benzina.

Il peso del galleggiante varia, come le nostre esperienze hanno confermato, in proporzione diretta della densità, affinchè il livello del combustibile nello zampillo si mantenga alla stessa altezza.

Il diametro del getto determina con la quantità di combustibile la quantità di calore introdotta nel cilindro, e questa dovrà essere la stessa salvo oscillazioni dovute a particolari qualità del carburante. I potenziali termici dei vari carburanti hanno a un dipresso lo stesso valore, ossia la richiesta d'aria teorica è approssimativamente proporzionale non al peso del combustibile, ma alla quantità di calore in esso contenuto; per cui aumentando la quantità di combustibile spruzzato (in peso), in ragione inversa del potere calorifico la richiesta d'aria rimane circa la medesima e si raggiunge facilmente il giusto rapporto aria-carburante.

Così si è trovato che nel caso del motore Alfa Romeo con carburatore Solex M. V. risultava costante il prodotto fra il diametro del getto, la densità e il potere calorifico del carburante: $G \times d \times P_c = \text{cost.}$; nel caso del motore Bianchi S 9 si verificava invece la costanza del prodotto fra il quadrato del diametro del getto, la densità e il potere calorifico: $G^2 \times d \times P_c = \text{cost.}$

Questo diverso comportamento, prevedibile teoricamente da considerazioni sull'effetto della viscosità sull'efflusso dei carburanti, dipende dall'aver tenuto costante il diffusore nel caso del motore Alfa Romeo, e di averlo variato nel caso del motore Bianchi S 9.

L'alcool assoluto (XV) che presenta la massima viscosità richiede un forte restringimento del diametro del diffusore (25 mm.

contro 28 mm. per la benzina) per permettere che anche a bassi regimi ai quali prevale il moto viscoso, si abbia una carburazione sufficientemente regolare, e anche perchè non si può aumentare il getto oltre misura se si desidera avere una carburazione corretta anche ad alti regimi.

2) *Partenza e ripresa.* — Per le benzine pure che presentano calori latenti di vaporizzazione molto simili basta la curva di distillazione per prevedere il comportamento del carburante durante l'alimentazione, per i carburanti alcoolici ciò non è più sufficiente.

Elevati calori latenti di vaporizzazione influiscono in modo notevole sull'evaporazione del carburante raffreddando la miscela e il motore e peggiorando le partenze: ciò si è verificato per tutti quei carburanti alcoolici ad alto contenuto di alcooli mancanti di frazioni volatili.

Durante le riprese, essendo il motore già a regime termico, il calore latente influisce in modo meno pronunciato. E se con i carburanti II, V, VIII, XV si sono avute riprese difficili e lente in confronto alla benzina ciò è dovuto principalmente ad altre cause, come: 1) lo scarso dimensionamento del pozzetto di alimentazione che non permette di trovare all'efflusso una quantità sufficiente di carburante pronto per l'uso; 2) la diminuita depressione in seguito all'apertura rapida della farfalla che tende a peggiorare le condizioni di cui sopra; 3) la condizione transitoria che ne risulta e che è di fornire in un momento in cui il motore richiede miscela più grassa una miscela magra, ed infine 4) il peggioramento della polverizzazione più sensibile per l'alcool che per la benzina è dovuto alla causa come in 2) e all'elevata viscosità dell'alcool rispetto alla benzina.

Un comportamento pressochè identico alla benzina pura agli effetti della partenza e della ripresa, ha dimostrato la benzina 1 *bis* contenente 14,3 % di alcool. Si può anzi ammettere anche in base a prove precedenti che l'aggiunta di alcool nella misura non oltre il 20 % migliora le partenze e le riprese in seguito alla aumentata tensione di vapore.

Dai risultati ottenuti con vari carburanti ed esposti nella Tabella I e nei diagrammi, si può concludere che per i motori usati senza preriscaldamento della miscela, i carburanti alcoolici possono presentare buona partenza e ripresa del motore, se presentano delle tensioni di vapore non inferiori a 0,250 kg-cmq. (a 37°,8 C) un inizio di distillazione non superiore a 45-50° che nelle stagioni invernali dovrà abbassarsi fino a 40.

3) *Potenze e rendimenti.* — Le potenze e i rendimenti che i vari carburanti hanno permesso di ottenere sono stati riferiti a quelli ottenibili con gli stessi motori nelle condizioni di carburazione corretta, alimentati da una benzina normale di riferimento. I carburanti VII, VIII, IX, X e XI sono stati riferiti alla benzina I sul motore Alfa Romeo RL ai due rapporti di compressione 5,28 e 6,80, i carburanti II, III, IV, V, VI e XII sono stati riferiti alla benzina I *bis* contenente 14,3 % di alcool sullo stesso motore e ai medesimi rapporti di compressione. I carburanti XV e XVI sono stati riferiti sul motore Bianchi S 9 alla benzina XIII ai due rapporti di compressione 5,5 e 7,01.

Le prove ad elevato rapporto di compressione con le benzine di riferimento sono state eseguite con aggiunta di 1 per mille di Ethyl Fluid (65,4 % vol. piombo tetraetile).

L'etere aggiunto in piccole proporzioni 3-5 % migliora la partenza e la ripresa del motore, ma in proporzioni del 20-30 % migliora anche i rendimenti e le potenze. In particolare il carburante composto di alcool e etere (20 %) rappresenta una combinazione tecnicamente perfetta in quanto ad un numero di ottano sufficientemente elevato (89), pur sempre inferiore all'alcool puro (100), unisce la qualità di facile partenza, migliore combustione e permette di raggiungere potenze e rendimenti superiori all'alcool e alla benzina, essenzialmente per la maggiore velocità di evaporazione della miscela (10). Questa circostanza si è verificata per ambedue i motori alimentati con alcool, e alcool più 20 % di etere, come si può ben constatare facilmente dai diagrammi esposti, per i carburanti III, V, XV e XVI.

In un diagramma a parte è stato confrontato il carburante I composto di benzina pura e I *bis* composto della medesima benzina addizionata del 14,3 % di alcool. Osservando le curve delle potenze come quelle delle pressioni medie si vede il netto miglioramento di potenza e di rendimento conseguito con l'aggiunta di alcool.

Un certo miglioramento di potenza e di rendimento, però di entità minore, si constata pure confrontando la benzina con 47 % di alcool con la benzina I.

La tetralina induce a combustioni incomplete, incrostazioni e bassi rendimenti, specie se è in proporzioni superiori al 3-4 %, come risulta anche dalle prove fatte in precedenza.

I carburanti privi di frazioni altobollenti (sotto gli 80°) danno delle potenze più basse rispetto alla benzina specialmente agli elevati numeri di giri, poichè sono le frazioni altobollenti che entrando in parte allo stato liquido del motore aumentano la

carica di ogni ciclo. Nello stesso senso agiscono il forte calore latente di vaporizzazione dell'alcool come quello dei carburanti contenenti elevate percentuali di alcool. Tuttavia occorre tenere presente che nè le frazioni altobollenti nè il calore latente di vaporizzazione possono aumentare oltre misura senza provocare delle combustioni incomplete e incrostazioni e che esiste un compromesso fra questi due fattori determinato dalla composizione del carburante e dalla temperatura alla fine della fase di compressione che permette di realizzare le massime potenze e i migliori rendimenti.

Gli elevati regimi e gli elevati rapporti di compressione acconsentono punti di rugiada più elevati cioè maggiori percentuali di frazioni altobollenti avendosi in queste condizioni temperature del motore più elevate.

4) *Autoaccensioni e detonazioni.* — Se per le benzine pure che soddisfano alle normali limitazioni di volatilità e di contenuto in gomme è sufficiente sapere il numero di ottano per prevedere se su un dato tipo di motore e a un determinato rapporto di compressione si potrà avere un funzionamento senza detonazione, per i carburanti succedanei ciò non può essere sufficiente.

Dalle prove eseguite infatti si osserva che sul motore Alfa Romeo alcuni carburanti pur avendo un numero di ottano abbastanza alto, presentano il fenomeno della detonazione incipiente ad alto rapporto di compressione alla quale la benzina etilizzata con un per mille di fluido etilico (numero di ottano 78) non detona.

Il fatto si spiega con la presenza nel carburante di frazioni eccessive a punto di ebollizione elevato (90 % a 259,5°) e di sostanze che bruciano malamente le quali inducono in un primo tempo a notevoli incrostazioni che costituendo uno strato termicamente isolante nella camera di scoppio inducono a sovrariscaldamenti e a conseguenti autoaccensioni per punto caldo.

Simile comportamento hanno dimostrato i carburanti contenenti tetralina, gomme eccessive e dell'etere oltre il 30 %, che è un promotore della detonazione.

Particolare interessante: il carburante costituito da 95 % di alcool metilico non ha dato luogo ad autoaccensioni sul motore Alfa Romeo RL a rapporti di compressione 5,28 e 6,80.

5) *Depositi e incrostazioni.* — Il criterio per stabilire se un carburante può dare delle incrostazioni o depositi per effetto delle gomme o per combustioni incomplete è quello di controllarne il contenuto delle gomme attuali col metodo convenzionale del getto d'aria usato nelle benzine.

Risulta dai dati ottenuti che il limite massimo di gomme per i carburanti alcoolici di sostituzione può essere ammesso di 20 mgr. per 100 cc.; ciò è in perfetto accordo con le prove fatte con le benzine pure per le quali il limite varia fra 10 e 15 mgr. per 100 cc. e dimostra la buona attendibilità del metodo di determinazione. Gli alcooli non fanno gomme e la loro presenza nelle benzine se non in forti proporzioni rende più tollerabile la presenza delle gomme, in quanto aumenta la volatilità del carburante e diminuisce la quantità di gomma depositabile.

Le miscele con forti quantitativi di alcool che conferiscono al carburante un elevato calore latente di vaporizzazione consentono in misura minore delle benzine pure la presenza di prodotti ad elevato punto di ebollizione, in quanto possono causare delle combustioni incomplete per effetto del raffreddamento della miscela carburata se non si provvede ad un riscaldamento accessorio il quale impedisca la condensazione in goccie grosse delle frazioni altobollenti.

Per questo motivo i carburanti contenenti tetralina in forti proporzioni (oltre il 3-4 % che rappresenta un limite) (IV e VI) hanno dato luogo a depositi e incrostazioni nella camera di scoppio e sulle valvole di ammissione dove avviene il primo contatto della miscela fresca colle parti calde del motore.

Si può ammettere in base ai risultati ottenuti che per evitare tali difetti occorre che qualora nel carburante si trovino frazioni bollenti oltre i 200° nella misura del 15-20 %, la percentuale degli alcooli non superi il 40-50 % ed in ogni caso è indispensabile che ci siano delle frazioni a punto di ebollizione intermedio, affinchè la vaporizzazione si possa compiere in modo uniforme.

6) *Corrosioni.* — Data la breve durata delle nostre prove (4 ore per carburante) non è stata riscontrata sulle parti metalliche interne del motore, alcuna corrosione dovuta allo zolfo, si sono riscontrate però con i carburanti contenenti percentuali molto elevate di zolfo le note alterazioni sulle candele.

Per le benzine pure, lo zolfo non dà luogo a corrosioni apprezzabili se in misura inferiore a 0,15-0,20 % limite che può essere ammesso anche per i carburanti di sostituzione.

È stato possibile inoltre di constatare che con alcuni carburanti contenenti alcool idrato le sedi delle valvole di scarico presentavano degli incavi puntiformi visibili.

Poichè si trattava di carburanti a basso tenore di zolfo e avendosi avuto delle acque di scarico acide contenenti quantità non trascurabili di ferro, il fenomeno è stato attribuito ad un'azione

chimica-corrosiva da parte dei gas caldi. Infatti in pari condizioni di funzionamento con alimentazione a benzina le acque di condensazione raccolte non presentarono che solo tracce di ferro ed acidità trascurabile.

In quanto all'influenza della qualità dell'alcool sulle corrosioni sono da segnalare le seguenti circostanze:

1) L'alcool anidro usato da solo come le miscele di alcool anidro ed etere, benzina e alcool anidro e benzina, alcool anidro ed etere, non danno luogo a corrosioni, e le acque di condensazione sono pochissimo acide.

L'innocuità corrosiva dell'alcool anidro è stata constatata anche da altri sperimentatori (17).

2) Non sempre l'alcool idrato dà luogo a corrosioni, così mentre con un carburante costituito da 44 % di benzina, 53 % di alcool idrato a 95,5 % in peso e 3 % di etere si sono avute le sedi delle valvole di scarico visibilmente alterate, con l'alcool eterificato Crima contenente 79 % di alcool al 95 % e il resto etere non si è avuta alcuna corrosione.

Questa diversità di comportamento può dipendere oltrechè dal contenuto in acqua dell'alcool, dalla qualità del denaturante usato e dalla presenza di teste o code e inoltre sopratutto dalla composizione chimica della parte non alcoolica del carburante.

La presenza di piccole percentuali di basi amminiche come le etilammine può attenuare sensibilmente l'azione corrosiva dell'alcool idrato.

È certo d'altra parte che le corrosioni dipendono notevolmente anche dalla composizione del metallo che costituisce le sedi delle valvole e che usando leghe anticorrosive a base di nichel-cromo l'inconveniente debba essere facilmente evitato.

BIBLIOGRAFIA

1. G. G. BROWN, *The volatility of motor fuels.* « Dep. of. eng. research University of Michigan », 1930.
2. W. A. GRUSE, *Direct determination of Dew-Point of Gasoline-Air mixtures.* « Ind. Eng. Ch. », 1923, p. 796.

2[bis]. O. C. BRIDGEMAN, *Dew-Points of air-gasoline mixtures from distillation curves.* « Ind. Eng. Ch. », 1928, pag. 821.

3. G. EGLOFF e collaboratori, *World Petroleum Congress.* Londra, 1933, vol. II.
4. G. D. BOERLAGE, *La détonation et l'auto-allumage.* « Journ. Téchn. Intern. de l'Aéronautique », Paris, 1936.
5. C. F. R., *Correlation of knock ratings.* « S. A. E. Journ. », ottobre 1932.
6. S. BAYAN, *I criteri moderni di valutazione dei carburanti.* « La Rivista Italiana del Petrolio », Roma, giugno 1939.
   — *La volatilità dei carburanti.* « L'Ingegnere », maggio 1939.
   — *Detonazione: le sue cause, la sua misura.* « Auto-Moto-Avio », 31 marzo, 1939.
7. W. H. THOMAS (I. P. T.), *The estimation of potenzial gum content of craked gasolines.* World Petroleum Congress, Londra, 1933, vol. II.
8. I. P. T., World Petroleum Congress, Londra, 1933, vol. II, pag. 94. *The estimation of existent gum in motor fuels.*
9. P. WOOG-J. GIVAUDON-P. DACHEUX, « La Rev. Petrol. », N. 584, pag. 721, 1934.
10. M. G. LEVI e S. BAYAN, *Studio sui carburanti a base di alcool e etere.* III Congresso Internazionale del Carbonio Carburante. Roma, 10-13 settembre, 1937.
11. L. C. LICHTY e E. T. ZIURYS, *Engine performance with gasoline and alcohol.* « Ind. Eng. Ch. », settembre 1936, pag. 1094.
12. C. PADOVANI e S. BAYAN, *Carburanti alcoolici - Miscibilità.* « L'Energia Termica », agosto-settembre 1935.
13. D. A. HOWES, *Synthetic methanol as motor fuel.* « Journ. of the Inst. of Petr. Thech. », 1933, pag. 301.
14. S. BAYAN, *Analisi delle miscele alcool-etere-acqua.* « La Riv. Ital. del Petrolio », Roma, aprile 1937.
15. R. W. A. BREWER, *The Art of Carburation in Theory and Practice.* « The thecnical Press. Ltd. », London, 1937.
16. S. BAYAN, *Igroscopicità dei carburanti alcoolici.* « La Riv. Ital. del Petrolio », Roma, marzo 1938.
17. A. CAPETTI e M. SEGRE, *Controllo del logoramento dei cilindri di un motore alimentato con alcool anidro.* « La Ricerca Scient. », VIII, 1937-I, pag. 122.

MARIO MILONE

PROFESSORE DI FISICO-CHIMICA NELLA R. UNIVERSITÀ DI TORINO

Proposta di un nuovo metodo per la misura della percentuale di alcool nelle miscele carburanti.

RIASSUNTO. — *La misura della costante dielettrica* (ε) *delle miscele carburanti può essere utilizzata sia per determinare con rapidità ed esattezza le percentuali di alcoli in esse contenuti, sia per stabilire la qualità delle sostanze aggiunte alla benzina.*

Recenti disposizioni ministeriali impongono che le benzine per carburanti vengano miscelate con una percentuale di alcoli (metilico o etilico) da stabilirsi, a seconda delle circostanze stagionali, per decreto legge.

Il metodo ufficiale (v. Norme Italiane Oli Minerali: N. O. M., N. 36-38) per la determinazione dell'alcool nelle miscele carburanti, basato sull'assorbimento dell'alcool da parte di una soluzione acquosa di cloruro di calcio al 20 % presenta a parer mio alcuni gravi inconvenienti. Anzitutto esso non discrimina la qualità delle varie sostanze aggiunte alla benzina (alcool metilico ed etilico ed eventualmente acetone, etere, ecc. che vi possono essere introdotti come surrogati) e determina come alcool anche le quantità di acqua presenti; inoltre non tiene conto dell'elevazione di temperatura che sempre accompagna la soluzione dell'alcool nell'acqua, la quale in casi estremi può da sola portare ad errori superiori al limite di tolleranza dell'1 %, fissato dalle norme ufficiali e già assai grande sia dal punto di vista merceologico che fiscale.

La notevole diversità esistente fra le proprietà fisiche degli idrocarburi e degli alcoli lasciava prevedere che fosse possibile una indagine più accurata sulla composizione delle loro miscele specialmente quando si usufruisse di quelle costanti in stretto rapporto con l'anisotropia del campo elettrico intramolecolare: e cioè tra le altre, l'indice di rifrazione e la costante dielettrica.

Le numerose prove da me eseguite con benzine di varia provenienza addizionate di quantità differenti di alcoli metilico ed etilico mi hanno portato a concludere che esiste una relazione lineare tra l'indice di rifrazione o la costante dielettrica e la composizione delle miscele, almeno per concentrazioni fino al 50% di alcool.

Riassumo per ora brevemente soltanto i risultati ottenuti per la costante dielettrica, perchè ritengo che la misura di questa sia di più pratica esecuzione specialmente fuori del laboratorio.

Le comuni benzine, come la massima parte degli idrocarburi alifatici e aromatici, hanno una costante dielettrica (ε) prossima a 2 (da 1,9 a 2,3) mentre per l'alcool metilico $\varepsilon = 32$, per l'alcool etilico $\varepsilon = 26$, per l'acetone $\varepsilon = 21$, per l'etere $\varepsilon = 4{,}3$, per l'acqua $\varepsilon = 81$.

Poichè il metodo da me seguito permette di determinare con sicurezza la seconda cifra decimale della costante dielettrica, ne consegue la possibilità di poter dedurre la composizione di una miscela di benzina con alcool metilico od etilico entro il 0,1 % di errore. Inoltre è ancora lecito stabilire qualitativamente se la miscela fu preparata con una sola o con più delle suddette sostanze quando si conosca approssimativamente la quantità percentuale di benzina contenuta nella miscela, o la si determini, ad es. seguendo le norme del metodo ufficiale.

La misura della costante dielettrica di una miscela carburante richiede al massimo un minuto: viene eseguita con 50 cc., può essere ripetuta più volte senza spreco di alcuno dei costituenti e non è praticamente influenzata dalle variazioni di temperatura ambiente (anche di 10°).

Per le suddette determinazioni mi sono servito di un apparecchio del tipo eterodina, da me fatto costruire anni fa e usato per altre misure. In commercio però si trovano già alcuni ottimi tipi degli stessi apparecchi a prezzi non troppo elevati: la loro costruzione non presenta d'altronde difficoltà alcuna.

Discussione delle comunicazioni relative al comportamento degli alcoli come carburanti

Il Prof. Speluzzi per quanto riguarda il problema della ripresa osserva:

In una lunga serie di prove da me compiute per diversi anni presso l'Istituto di Meccanica Industriale del R. Politecnico di Milano e privatamente sui carburanti alcoolici, sperimentati come carburanti succedanei su diversi motori e vetture automobili, ho ottenuto risultati che concordano con le conclusioni enunciate dal Prof. Capetti, salvo per la terza di esse.

Mi risulterebbe di fatto che con l'uso dell'alcool l'accelerazione può essere resa tanto rapida quanto con l'alimentazione a benzina.

Credo interessante esaminare le probabili ragioni di questa divergenza, e commentarle brevemente:

Probabilmente le esperienze eseguite in Torino sul motore 121 furono compiute col carburatore Solex MOVT 35 di serie. In questo carburatore il getto principale, ad emulsione d'aria, è di difficile regolazione per carburazione ad alcool, ed anche con getti registrati automaticamente, che danno cioè miscele più ricche a basso regime, si ottiene in ripresa una polverizzazione piuttosto grossolana rispetto a quella consentita da altri carburatori, e si ha quindi maggior facilità di condensazioni nelle tuberie.

Sempre riferendoci ai carburatori Solex, ritengo assai migliore, specialmente per l'alimentazione ad alcool, il cosiddetto « montaggio 20 » (o 21, 22 secondo i tipi di carburatori a cui viene applicato). Si ottengono con esso riprese assai più elastiche e decise ai bassi regimi, grazie all'adozione del getto d'aria detto « calibratore d'automaticità ».

Anche la capacità del pozzetto funziona a tutto vantaggio della ripresa, ed il carburatore diviene di assai più facile adattamento.

Questo dispositivo non può essere montato sui carburatori della serie M.

Il carburatore MOVT non ha il getto di progressione [1], *il che porta, in regimi di ripresa, che partono praticamente dal minimo o quasi, ad una esitazione notevole, in quanto il getto del minimo, anche se tendenzialmente ricco, non aiuta che molto modestamente ed insufficientemente il passaggio.*

In altri carburatori, come ad esempio lo Zenith, lo Stromberg, ecc., il getto di progressione interviene, facendo lavorare il minimo, con grande beneficio sul passaggio. Nei carburatori con compensatore, all'apertura rapida della farfalla, il carburante, contenuto nel pozzetto, interviene, arricchendo la miscela, e fornendo quell'eccesso, per altro regolabile, che è necessario per riprendere correttamente, rapidamente e senza esitazioni.

Inoltre il carburatore MOVT non ha le caratteristiche comuni alla maggioranza dei carburatori invertiti, che hanno in generale una miglior polverizzazione, alla quale si deve ascrivere la loro più brillante prestazione, specialmente nei passaggi di regime.

In prove eseguite già da anni con tuberie di aspirazione trasparenti, ho avuto modo di notare che la condensazione è più accentuata nei carburatori orizzontali che nei verticali, a parità di condizioni di funzionamento del motore e con regolazioni strettamente simili. Ciò è stato confermato dalle analisi degli scarichi.

Ora è noto che la ripresa dipende in modo essenziale dalla regolazione per la marcia lenta (minimo e getto di progressione) e dalla registrazione (getto e pozzetto) del compensatore (quando c'è) o della candela dei getti soffiati, o ad emulsione.

Non disponendo della apposita apparecchiatura predisposta dal Prof. Capetti, le esperienze che si fecero a Milano in diversi tempi furono eseguite cercando di eliminare le più notevoli cause di errore. Si è sempre perciò sperimentato curando la identità della temperatura dell'acqua di raffreddamento, con miscele a pari eccesso d'aria al massimo numero di giri, e mantenendo uguale livello nel carburatore, per mezzo di opportune modificazioni del peso del galleggiante, a seconda della densità del carburante.

Riguardo alla registrazione del carburatore, conviene ancora notare che con alcool si possono ottenere ottime regolazioni, non solo

---

[1] Come è noto, il getto di progressione, normalmente inserito sul minimo ed a monte della farfalla, interviene nel primo periodo della ripresa, sia con un arricchimento praticamente istantaneo della miscela, sia rendendo molto dolce il passaggio al mutare della depressione. È di fatto possibile variare l'erogazione di carburante, modificando la sezione di questo accessorio, e ciò è assai più agevole che non il ritoccare, entro i limiti molto stretti concessi dalle esigenze pratiche, il solo sbocco del minimo.

toccando i getti ma, e spesso meglio, sostituendo i diffusori usati per benzina con diffusori di diametro minore e contemporanea modificazione dei getti.

Le prove da me eseguite sono state condotte sia su benzina pura — in alcune anche con una percentuale del 14,3 % di alcool in volume — sia su alcool eterificato, alcool etilico anidro, alcool metilico e numerosissime miscele di composizione varia, di cui molte inviate per le prove di carburazione dal Ministero delle Corporazioni pel tramite della Sezione Combustibili del R. Politecnico di Milano, specialmente durante il periodo delle sanzioni.

Per ogni carburante usato si è avuto cura di stabilire, con indice girevole su disco graduato, ed a motore funzionante, l'anticipo più appropriato per ogni regime, a carburazione corretta.

Le prove di ripresa furono fatte sia al freno, sia su strada; sempre però con uguale registrazione del carburatore per avere risultati paragonabili.

È risultato che il funzionamento con alcool dà tempi di accelerazione che sono praticamente doppi dei tempi di accelerazione con benzina, se non si apporta qualche modificazione all'anticipo, alla registrazione dei pozzetti e getti di progressione del carburatore, e se non si preriscalda l'aria di alimentazione. Con gli opportuni ritocchi a tali condizioni di funzionamento si riesce con l'alcool ad ottenere quasi gli stessi tempi di accelerazione che si hanno con la benzina, in particolare si è notato che la scelta appropriata dei getti di progressione e dei pozzetti, specialmente di compensazione, influisce notevolmente sui regimi inferiori durante la ripresa, mentre l'influenza dell'anticipo è particolarmente sensibile ai regimi più elevati. Nelle prove eseguite con carburatori a pompa d'accelerazione [1] *si è trovato un grande vantaggio, al banco e su strada, nel ritardare leggermente il comando della pompa d'accelerazione, aumentando la quantità iniettata circa nel rapporto dei poteri calorifici, agendo sulla corsa della pompa o sul getto di scarico della medesima, ma senza alterare il diametro dello spruzzatore; anzi la riduzione di diametro ed il contemporaneo prolungamento dell'iniezione ha dato ottimi risultati, ottenendosi accelerazioni nette e rapide, probabilmente perchè il getto molto sottile di alcool (getti di diametro attorno ai 4/10 ÷ 5/10 di mm.) viene facilmente polverizzato anche a bassa velocità.*

Il Prof. CAPETTI *rileva che il Prof. Speluzzi non fornisce con le sue osservazioni alcuni elementi, che hanno non dubbia influenza,*

---

[1] I risultati di queste prove sono in corso di pubblicazione in «L'Energia Termica».

quali sarebbero: la dosatura della miscela e la temperatura delle tubazioni, nè distingue le varie fasi del fenomeno della ripresa; circostanze tutte che spostano notevolmente le conclusioni comparative, come risulta dalla Relazione testè letta. D'altra parte le esperienze eseguite nel Laboratorio di Torino sono state volutamente compiute su vari carburanti messi nelle identiche condizioni e provati perciò collo stesso carburatore Solex MOVT 35. È quindi possibile che opportuni espedienti possano migliorare il comportamento dell'alcool, come afferma il Prof. Speluzzi.

Il Prof. SPELUZZI *replica dicendo che, nelle sue esperienze, la dosatura della miscela fu fatta al regime del massimo di giri, ne attribuisce le divergenze al fatto che le esperienze di Torino furono condotte mettendo i carburanti nelle identiche condizioni e quelle di Milano, ricercando per ciascuno di essi le condizioni più favorevoli.*

Aggiunge poi altre notizie sulle sue prove con miscele alcooliche, dalle quali è risultato che la partenza è agevolata dall'uso della reticella scaldante, posta dopo il carburatore. Per mezzo di essa si può avviare il motore alimentato con alcool puro, anche per temperature esterne fino a 10° centigradi. Ottimi avviamenti si ottengono invece, e sono stati sperimentati a temperatura di 16°, abbinando un riscaldatore piano con un riscaldatore avvolto a spirale.

È stato tentato, a puro titolo sperimentale, di riscaldare e vaporizzare l'alcool mediante resistenze, prima di immetterlo all'aspirazione attraverso opportuno getto di partenza, separato dal carburatore normale, che non funziona in simili condizioni di completo vapor-lock. Si è notato che bisogna spingere a valore molto elevato la temperatura dei vapori d'alcool (100 ÷ 120°) che riesce difficile la dosatura e che infine vi è qualche difficoltà pratica anche per il passaggio ad alimentazione col carburatore ad alcool liquido. L'abbinamento della vaporizzazione dell'alcool e dell'inserzione delle reticelle scaldanti ha dato ottimi risultati, anche con temperature ambienti rigidissime, ma il complesso dei comandi ed organi ausiliari è eccessivamente complicato per la pratica corrente, importando modificazioni poco agevoli sui carburatori normali.

Riesce invece perfettamente rispondente il sistema di partenza con carburanti leggeri (benzina, alcool eterificato) a mezzo di uno starter montato su una vaschetta a livello costante, ausiliaria. Basta normalmente il funzionamento per uno a due minuti, secondo le condizioni ambienti, per poter passare all'alimentazione ad alcool con aria preriscaldata o miscela carburata preriscaldata. Il consumo di carburante leggero per l'avviamento a freddo è assai limitato, e si può dire vari fra 100 ÷ 300 cmc. per ogni avviamento. Su questo prin-

cipio sono stati industrialmente realizzati carburatori speciali (Solex MOVLS, Zenith TTVA, O. M. P.) sui quali non si sono però eseguite prove e non si hanno quindi che notizie indirette, che confermano la loro rispondenza. Qualche carburatore si presta molto bene e facilmente ad ottenere con piccole modificazioni, questa disposizione; in particolare, ad esempio, i tipi Solex F, sia a semplice sia a bistarter, grazie alla presenza del noto dispositivo di partenza, la cui alimentazione può rendersi completamente indipendente da quella normale della vaschetta principale. Nel carburatore bistarter la cosa riesce ancora meglio per la presenza delle due piastrine. I carburatori Zenith serie V, a semplice, o doppio corpo, non si prestano a questo adattamento, perchè il getto di partenza è annegato nella vaschetta.

Per quanto riguarda gli eventuali effetti dell'alcool sulle pareti dei cilindri, *l'uso di alcooli idrati ha condotto sempre a notevoli corrosioni, particolarmente sensibili sulle sedi e sul fungo delle valvole di scarico, che appaiono chiaramente picchiettati di piccole cavità di forma irregolare. Le sedi nei cilindri o teste in ghisa, si sono in generale mostrate più resistenti, anche in motori ad altissimo rapporto di compressione o in motori da corsa, con compressore. L'alcool metilico si è mostrato, in questo senso, molto più attivo dell'alcool etilico, specialmente su valvole molto calde, perchè l'alcool metilico 99 ÷ 98 % che normalmente si impiega, corrode visibilmente valvole, che resistono bene invece ad alcool etilico di pari gradazione.*

Il fenomeno è risultato evidente dalla titolazione del ferro passato negli scarichi, opportunamente raffreddati sino a raccogliere l'acqua per condensazione.

In alcune prove per motori speciali, con sensibile aggiunta di acqua all'aspirazione, sia sotto forma di vapore, che di nebbia, l'alcool metilico si è dimostrato violentemente aggressivo; purtroppo necessità contingenti di prove non hanno permesso di rilevare le perdite in peso delle valvole dopo qualche ora di funzionamento. L'aggiunta di olii minerali o di ricino nella misura del 1 ÷ 3 % non migliora affatto le condizioni: si è trovato invece che le aggiunte di trimetilamina, tetrametilamina, trietanolamina sono ottime, se non per eliminare, almeno per ridurre grandemente tali corrosioni, le quali si manifestano anche a freddo. Anzi l'azione a freddo, se non si adotta il sistema di far marciare lentamente il motore, prima di fermarlo, con benzina e con alcooli addizionati con le sostanze precitate, sembra preponderante. Ciò porta a concludere che, molto probabilmente, e specialmente per carburazioni tendenzialmente grasse, come si hanno nei motori molto spinti, la preconizzata formazione di acido acetico

e formico, per l'uso di alcooli etilico e metilico, è assai sensibile, specialmente con alcooli idrati.

Col funzionamento a metanolo è del resto noto che negli scarichi si avverte molto chiaramente l'odore caratteristico dell'acido formico.

Circa gli inconvenienti di corrosione o logoramento nei cilindri, si sono notate chiaramente, nel corso di centinaia di esperimenti su motori di diversa costruzione, e per impieghi diversi, le seguenti circostanze:

1) l'uso di alcooli o miscele alcooliche fortemente idrate, anche se si adottano tutti i migliori accorgimenti per ottenere una buona polverizzazione ed evaporazione, dà luogo ad inconvenienti nella lubrificazione, più o meno sensibile secondo la disposizione dei segmenti nei pistoni, in quanto i cilindri risultano più asciutti che non funzionando a benzina.

Sulle valvole si notano, col tempo, le denunciate corrosioni, e, lasciando il motore inattivo qualche tempo, la camera di combustione presenta una superficie rugginosa, che si nota anche nell'interno dei bossoli delle candele. L'inconveniente diminuisce, specialmente in camera di scoppio, se i pistoni lasciano passare dell'olio, ed aumenta per gli alcooli più idrati;

2) ad attenuare tali effetti dannosi è consigliabile usare alcooli con trimetilamina, o meglio, spruzzare, durante gli ultimi istanti di funzionamento, nei cilindri una miscela di trietanolamina — olio di ricino, nelle prese del carburatore;

3) conviene sorvegliare accuratamente e specialmente in motori usurati, che non passi alcool nel carter ad inquinare l'olio.

VII Gruppo.

PROBLEMI ECONOMICI DELL'IMPIEGO DELL'ALCOOL

DOMENICO MENEGHINI

DIRETTORE DELL'ISTITUTO DI CHIMICA INDUSTRIALE
DELLA R. UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

L'alcool etilico da prodotti vegetali, con particolare riguardo all'economia del combustibile ed alla utilizzazione dei residui.

RIASSUNTO. — *Premesso che il problema dell'alcool come carburante sussidiario ha perduto parte della importanza assunta prima della applicazione industriale di recenti processi sintetici, vengono considerate le attuali condizioni della industria dell'alcool in Italia. Sono prese poi in esame le varie materie prime vegetali alcooligene, considerando sia i rendimenti in alcool, sia la eventuale utilizzazione di sottoprodotti e residui.*

In base agli attuali processi di lavorazione sono esposti i consumi globali di vapore (e quindi di carbone) per ettolitro di alcool anidro e si accenna infine ai nuovi processi di sintesi che possono condurre o ad alcool o a quei carburanti che l'alcool dovrebbe sostituire.

Nel prendere in considerazione il problema tecnico ed economico della produzione dell'alcool etilico da materie prime vegetali (zuccheri, amidi, cellulosi), come non si può far astrazione dalle condizioni generali fissate dalla natura sulla disponibilità e possibilità di accrescimento di questi prodotti, e dalle necessità agricole e forestali del Paese (ciò che forma oggetto di altre relazioni), non si deve dimenticare che tale problema interessa la possibilità di utilizzare l'alcool non solo come combustibile nei motori a carburazione, ma anche come materia prima o prodotto intermedio in molte lavorazioni chimiche, di importanza fondamentale, in pace o in guerra. Per avere un'idea della importanza che l'alcool può avere in questi nuovi processi basterà ricordare la sintesi della gomma, da aldeide acetica ed alcool etilico, la fabbricazione della pentrite, nuovo esplosivo di sintesi, da aldeide ottenuta da deidrogenazione dell'alcool, ecc.

Inoltre, nel considerare le possibilità di produzione dell'alcool da carboidrati e la disponibilità di questi, occorre tener presente

che altre fermentazioni, diverse da quella alcoolica propriamente detta (ad es.: glicerinica, aceton-butilica, mannitica, ecc.), hanno, o possono avere in caso di emergenza, rilevante importanza per le necessità del Paese, così da sottrarre parte più o meno cospicua delle disponibilità di queste materie prime vegetali. Infine, nel quadro generale delle possibilità di produzione dell'alcool conviene considerare che esso ci può essere fornito per vie sintetiche diverse e che tali sintesi potranno esercitare una influenza sulle possibilità di vita e di sviluppo delle industrie produttrici d'alcool da materiali vegetali.

D'altra parte si può anche rilevare che il problema di utilizzazione dell'alcool nei motori a carburazione, in sostituzione parziale o completa degli idrocarburi ricavati dalla distillazione e raffinazione dei petroli greggi naturali, ha perduto in questi ultimissimi anni parte di quella importanza che esso presentava quando le benzine erano ottenute soltanto da petroli greggi naturali e quando la loro preparazione ed il loro commercio erano monopolio pressochè esclusivo di pochissimi gruppi anglo-americani.

I processi di sintesi e di idrogenazione permettono oggi di avere grandi quantità di ottimi carburanti leggeri, analoghi per composizione e costituzione ai prodotti naturali; inoltre molti paesi, e fra questi in prima linea l'Italia, con grandi impianti di raffinazione ed idrogenazione, nel proprio territorio nazionale, tendono ad annullare la importazione di prodotti lavorati per importare invece dal libero mercato i greggi di qualsiasi provenienza e natura [1].

***

Per inserire il problema generale considerato in questa Relazione, nel quadro delle peculiari condizioni italiane, diverse da quelle che si possono presentare presso altri Paesi, conviene esaminare le condizioni dell'industria dell'alcool in Italia come si sono verificate e modificate nel dopo guerra, sia rispetto ai consumi, come rispetto alle materie prime.

Ad es. nel 1936 la produzione complessiva italiana di alcool ha di poco superato il milione di ettanidri (1.095.000 edri) e precisamente in cifre tonde: 324.900 edri sono stati prodotti nelle distil-

(1) Mentre nel 1936 la importazione di greggi in Italia ha rappresentato soltanto il 16 % del totale di prodotti petroliferi importati, nel 1937 questa percentuale si è elevata al 36 % ed ha superato il 60 % nel 1938.

lerie di 1ª Categoria (ca. 32 %), 272.400 edri in quelle di II Categoria (ca. 27 %) e 499.200 edri (ca. 50 %) sono stati prodotti per la utilizzazione a carburante. Quest'ultima produzione ha superato i 560.000 edri nel 1937.

Se si esaminano queste produzioni con maggiore dettaglio si nota che le distillerie di I Categoria, che lavorano cereali o melasso, hanno prodotto nel 1936 ca. 69.000 edri di alcool da cereali, e ca. 255.000 edri da melasso, mentre ad es., nell'ultimo decennio, si è avuto un massimo nella produzione di alcool da cereali nel 1935 con 162.300 edri, ed un massimo nella produzione dell'alcool da melasso nel 1934 con 282.600 edri. Le distillerie che lavorano vini, vinelli, vinacce, frutta, hanno dato nel 1936 ben 220.000 edri di alcool da vini e vinelli, 44.500 edri da vinacce, e ca. 8000 edri da frutta. Anche queste cifre subiscono per particolari condizioni delle annate agricole delle variazioni molto considerevoli. Già la produzione di 220.000 edri d'alcool da vini e vinelli è stata eccezionale rispetto agli anni precedenti, per l'elevato raccolto vinicolo del 1935-36, per il quale, da ottobre 1935 a settembre 1936, si sono distillati ben 2.270.000 ettolitri di vino con una resa di 175.000 edri di alcool (resa 8 %). Nel 1933 la produzione di alcool da vinacce è stata di ca. 62.300 edri, e quella da frutta nel 1937 si è elevata a ca. 24.000 edri.

Per quanto riguarda la produzione di alcool-carburante, nel 1936: 357.000 edri ca. sono stati ottenuti da bietole (35 % della produzione complessiva), 142.000 edri sono stati invece eccezionalmente ricavati da zucchero, rilevato dall'ingente stock esistente.

Da questo esame si può rilevare come i consumi d'alcool (esclusi quelli come carburante verificatesi in questi ultimi anni) si possano oggi valutare sui 500.000 edri, di cui circa 400.000 edri usati (previa denaturazione o sotto il controllo fiscale) dall'industria, il resto consumato come bevanda, per profumi, prodotti farmaceutici, ecc.

Il 40-45 % di quest'alcool proviene da *melasso*, la cui disponibilità è strettamente collegata alle vicende dell'industria saccarifera. Per le altre materie prime che, nelle distillerie di prima e seconda categoria, ci hanno dato alcool (sempre escluso quello carburante e cioè: cereali, frutta, vini, vinacce, ecc.) si possono rilevare oscillazioni molto ampie verificatesi in dipendenza di numerosi fattori (climatici, economici, ecc.) per cui si può concludere che, fino ad ora, l'industria dell'alcool si è basata in linea normale sulla utilizzazione del melasso, integrata da quella del vino e vinacce.

Per quanto riguarda l'alcool destinato a carburante, esso ha tratto fino ad ora la materia prima direttamente dalle bietole. In minor misura ed in tempi più recenti, si è iniziato lo sfruttamento del sorgo zuccherino, la cui coltivazione e lavorazione devono essere ancora considerate in fase sperimentale.

In ogni modo è interessante rilevare che in questi ultimi anni la potenzialità degli impianti per alcool anidro, necessario per la sua utilizzazione quale carburante in miscela con benzina, si è elevata da 1500 a 13.000 edri giornalieri, su 15.000 edri giornalieri che rappresenta la potenzialità complessiva italiana degli impianti di alcool non disidratato.

***

Le *materie prime* vegetali che possono dare alcool sono sempre carboidrati e cioè:

a) *sostanze zuccherine* già fermentate: ad es. *vino, vinacce, vinelli* (3 ÷ 10 litri anidri per quintale);

b) *sostanze zuccherine* previa fermentazione: come *bietole* oppure *melasso*, sottoprodotto della lavorazione delle stesse bietole o *canna da zucchero* e melasso relativo; o *sorgo zuccherino*; o *frutta*, come fichi, carrube, fichi d'india;

c) *sostanze amilacee*, previa saccarificazione e fermentazione, cioè: *amidi* e *fecole* da grani, tuberi e rizomi come: mais, frumento, riso, durra, o patate;

d) *cellulosa: legno* o residui della lavorazione del legno per la separazione della cellulosa (*liscivie solfitiche*).

Per quanto si riferisce al nostro Paese, le materie prime di maggiore importanza sono state fino ad ora quelle del gruppo *b*, cioè *bietole zuccherine* e *melasso*.

La resa media per ettaro si aggira sui 270 quintali di *bietole*, con un tenore zuccherino che oscilla da 14 a 16 %. Si ha cioè una resa media di ca. 36 quintali di zucchero per ettaro di terreno coltivato a bietole [1]. Possiamo quindi calcolare che la resa in alcool, ottenuto per fermentazione dei sughi di diffusione delle bietole, si aggiri sugli 8 litri anidri per quintale di bietole, cioè sui 21-22 edri

[1] In Germania la resa per ettaro in bietole (a 17-18 % zucchero) si aggira sui 290 q.li, e sale a 335 q.li in Olanda, per cui si ha una resa di ca. 47 q.li zucchero per ettaro in Germania e ca. 50 q.li in Olanda.

per ettaro coltivato a bietole. Se le bietole vengono prima lavorate a zucchero, si ha un residuo di ca. 3 kg. di *melasso* per quintale di bietole, dal quale si ricavano ca. 30 litri di alcool anidro per quintale di melasso. Possiamo quindi calcolare che per ettaro coltivato a bietole, quando queste passano prima alla normale fabbricazione dello zucchero, si hanno ca. 8 quintali di melasso, cioè ca. 2,5 edri di alcool.

Non si hanno ancora elementi sicuri per precisare la resa media per ettaro di *sorgo zuccherino*, per il quale si calcola una resa di ca. 10 litri di alcool anidro per quintale di canna fresca.

Non è da pensare in Italia ad una utilizzazione, in via normale, su vasta scala di materie prime del gruppo *c* (*sostanze amilacee*). Non è invece certamente azzardato pensare che esse potranno costituire importanti materie prime per alcool nel nostro Impero africano. Dai grani di *mais*, *frumento*, *riso*, *durra*, la resa in alcool può essere calcolata su 35-40 litri anidri per quintale. Da tuberi, rizomi ecc. la resa varia con lo stato di essiccazione dei prodotti. Per es. le *patate* fresche con ca. 15 % amido, danno ca. 10 litri di alcool anidro per quintale.

Non è invece da trascurare la possibilità di avere alcool in Italia da *materiali cellulosici* (gruppo *d*). Il *legno* (cascami) può dare da 15 a 20 litri di alcool anidro per quintale; le *liscivie solfitiche* ca. 0,5 litri di alcool anidro per quintale di legno lavorato.

Attualmente, come si è detto, la materia prima che concorre in modo predominante alla produzione italiana di alcool è la *bietola*, sia indirettamente col melasso residuo dalla fabbricazione dello zucchero, sia direttamente per fermentazione dei sughi di diffusione.

Si può osservare che fino ad ora la coltivazione delle bietole è stata considerata soltanto dal punto di vista della sua utilizzazione nella industria saccarifera. Tutto il problema della selezione dei semi, onde arrivare a radici elette, quello delle lavorazioni dei terreni ecc. è stato considerato soltanto dal punto di vista di ottenere bietole ad alto tenore in zucchero, con sughi di elevata purezza, onde aver la minore quantità possibile di sostanze melassigene, che impediscono la cristallizzazione di una parte del saccarosio. Se invece si considera la bietola come pianta alcooligena i criteri di selezione dei semi, ecc. potrebbero essere completamente diversi: ottenere soltanto la più alta resa in zucchero fermentescibile per ettaro coltivato. Nella lavorazione diretta della bietola ad alcool vengono ad esempio a mancare tutte le preoccupazioni che riguardano il contenuto in azoto aminico nocivo ecc.

Ricordo a tal proposito che esperienze condotte presso la *Sezione sperimentale zuccheri* del *R. Istituto di Chimica industriale* della Università di Padova, in collaborazione anche con l'*Institut international de recherches betteravières* di Bruxelles, hanno dimostrato che il contenuto in azoto aminico, considerato nocivo agli effetti della lavorazione a zucchero, è strettamente legato col tenore in zucchero; oltre un certo limite non si può scendere nel tenore in azoto nocivo senza veder diminuire il per cento di saccarosio nelle bietole, ora questo azoto aminico che è nocivo nella fabbricazione dello zucchero, non ha importanza nella utilizzazione diretta della bietola ad alcool.

***

Per ognuna di queste materie prime o per ogni gruppo di materie prime si hanno, nella lavorazione ad alcool, sottoprodotti e residui la cui ulteriore utilizzazione può esercitare una influenza anche notevole sulle possibilità economiche del procedimento industriale.

Ad es.: dalle *bietole* si hanno « *polpe* » fresche pressate (45 % bb.) o secche (7 % bb.) utilizzabili come mangimi;

dal *melasso* di bietola si ha « *salino* » (10 % melasso) che serve come concime o meglio per la estrazione e lavorazione di sali potassici (contenendo ca. 40 % K_2O);

dal *sorgo:* si ha un residuo cellulosico (*cellulosa* = circa 6 % canna fresca di sorgo) utilizzabile come combustibile o per la estrazione della cellulosa come tale, o come materia prima per alcool, previa saccarificazione;

dalle *sostanze amilacee* si hanno *borlande*: ad es. 150 litri con 8 Kg. di sostanza secca per quintale patate;

dalla *cellulosa* (legno, residui del legno) si ha lignina, furfurolo, che possono essere utilizzate o come combustibili o, meglio, nella fabbricazione di materie plastiche.

***

I processi di lavorazione industriale di queste materie prime, possono essere:

a) semplice distillazione e rettificazione dell'alcool già formato (vino, vinelli, vinacce);

b) separazione dei componenti zuccherini (per pressione, per dissoluzione, diffusione) da sottoporre poi a fermentazione;

c) saccarificazione dei componenti amilacei o cellulosici, da sottoporre poi a fermentazione.

Su quest'ultimo processo, che nel caso di materiali cellulosici riveste una grande importanza, non si può dire ancora una parola sicura nel confronto dei procedimenti che la tecnica tende ad adottare: processo Bergius, Schöller, Giordani-Leone, ecc.

Qualunque sia il processo adottato per arrivare alla soluzione che deve essere sottoposta alla fermentazione, durante quest'ultima fase una parte dei carboidrati fermentescibili si trasforma in anidride carbonica: p. 100 litri di alcool anidro si ha lo sviluppo, in cifra tonda, di 100 kg. di CO_2, almeno parzialmente utilizzabile.

***

Secondo il materiale vegetale di partenza e secondo il metodo seguito nella lavorazione, varia la quantità di calore che si deve spendere (generalmente sotto forma di vapore) per arrivare alla soluzione alcoolica da distillare, ed il cui tenore alcoolico può variare dal 5 al 12 %.

Il problema della distillazione e rettificazione (che richiedono altro calore, cioè vapore e carbone) può essere alquanto diverso secondo la utilizzazione finale dell'alcool.

Mentre per determinati scopi industriali la separazione degli alcooli superiori, delle aldeidi (flemme), ecc., durante la rettificazione, può avere importanza fondamentale per arrivare ad alcool di grande purezza e ci si può arrestare ad un alcool al 95 % circa (cioè ad una concentrazione che corrisponde al punto di minimo delle tensioni di vapore delle soluzioni idroalcooliche), quando l'alcool deve essere utilizzato come carburante, scompare la necessità di una grande purezza ma è invece necessario avere un prodotto quasi anidro (alcool assoluto, almeno a 99,6 %).

I processi industrialmente adottati per la disidratazione sia partendo da alcool rettificato (circa 95 %) sia da alcool grezzo, sia direttamente da liquidi fermentati, possono essere divisi in due gruppi, secondo che utilizzano, come disidratanti, prodotti solidi o liquidi. Questi ultimi possono alla loro volta essere distinti secondo che esercitano una vera e propria disidratazione od agiscano per azeotropismo.

Abbiamo così principalmente:

il processo Merck-Darmstadt, con calce viva;

id. della I. G. Farbenindustrie, con solfato di calcio semiidrato;

il processo Marillez, con glicerina;

id. Hiag, con acetato sodico-potassico;

processi azeotropici (i più diffusi) con benzina e benzolo o cicloesanolo o tricloroetilene (Drawinol), ecc.

Nel confrontare questi processi occorre tener presente: il consumo di combustibile sia per la rettificazione come per la rigenerazione del reattivo disidratante, il consumo di reattivo ed il suo costo, la complessità dell'impianto che influisce sulle spese generali di ammortamento e manutenzione.

Per quanto riguarda il consumo complessivo medio di carbone secondo le materie prime di partenza esso può essere espresso dalle seguenti cifre riassuntive nelle quali tale consumo è esposto in Kg. di vapore per ettolitro di alcool anidro.

Materie prime	Consumo di vapore in per ettol. anidro
Vino	400
Melasso	450
Bietole	550
Legno	900-1200

Per passare dal consumo di vapore a quello di carbone si deve tener presente che quest'ultimo può variare entro limiti anche vasti, qualora si utilizzino residui combustibili della lavorazione, oppure con una maggiore o minore efficienza degli impianti di vaporizzazione ed a seconda che il vapore viene utilizzato per la produzione di forza motrice, prima di essere usato per riscaldamento a bassa pressione.

Se si assume il rapporto *carbone-vapore*, in kg., come $1 : 8 \div 9$, si può dedurre che occorrono circa 65 kg. di carbone per ettolitro d'alcool anidro ottenuto partendo direttamente da bietole. Il consumo di calorie-carbone è presso a poco eguale alle calorie-alcool prodotte. Nel caso del legno si arriva a consumi all'incirca doppi: occorrono 8500-9000 calorie-carbone per ottenere 5100 calorie-alcool.

Il raffronto deve però tener conto, agli effetti economici, non solo della utilizzazione dei sottoprodotti e residui, ma anche della stessa utilizzazione più o meno remunerativa del vapore e quindi del carbone necessario alla sua produzione, e soprattutto della diversità dei due prodotti: alcool e carbone, agli effetti della utilizzazione per la produzione di forza motrice, per cui si potrebbe dire che le calorie-alcool sono ben diversamente e più proficuamente utilizzabili delle calorie-carbone.

***

Di fronte a questi processi che conducono all'alcool partendo da prodotti vegetali, abbiamo recentissimi processi che dànno alcool per via di sintesi chimiche.

Le materie prime sono le stesse (carbone, gas d'acqua) che conducono alle sintesi degli idrocarburi olefinici o sono le stesse olefine residuate da lavorazione di olii minerali o dei gas di distillazione.

Partendo da gas d'acqua (H_2 e CO) la sintesi, sotto pressione e con determinati catalizzatori, o conduce al primo termine degli alcooli alifatici (l'alcool metilico), o conduce a termini superiori all'etilico. Variando invece le condizioni delle catalisi (processo Fischer Tropsch), bassa pressione e catalizzatori differenti, si arriva a idrocarburi liquidi carburanti.

Ecco quindi che quello stesso carbone che noi dobbiamo consumare per ottenere alcool carburante, ci può dare, per questa via quegli stessi carburanti liquidi che l'alcool dovrebbe sostituire. Quest'ultimo può essere ottenuto dall'etilene, attraverso l'acido etilensolforico, ed il processo è conveniente se collegato alla fabbricazione di solfato ammonico dall'ammoniaca sintetica per la quale l'idrogeno venga ricavato dai gas dei forni a coke contenenti appunto etilene, però questo etilene può trovare utilizzazioni più remunerative (ad es. glicole).

Il processo di riduzione con idrogeno dell'acetaldeide ad alcool non è economicamente possibile, in confronto coi processi di produzione dell'alcool di fermentazione fino a che l'aldeide viene ottenuta dall'acetilene e questo lo si ha dal carburo di calcio. Una tonn. di alcool da carburo richiede altrettanta aldeide cioè 625 Kg. di acetilene (= 2 tonn. di carburo = 1,2-1,5 tonn. di carbone) oltre a 650 m^3 di idrogeno).

Riuscirà la tecnica ad ottenere con buoni rendimenti e poca spesa l'acetilene dal metano naturale o di distillazione? Quel giorno, forse non molto lontano, l'alcool potrà essere prodotto a prezzi tali per cui molti dei prodotti vegetali che ora costituiscono fonti possibili di produzione, troveranno altre utilizzazioni le quali potranno essere forse considerate più razionali, se si pensa che nella fermentazione alcoolica un terzo del carbonio assimilato dalla pianta nella sintesi clorofillica, viene degradato alla forma meno nobile e più difficilmente utilizzabile: l'anidride carbonica!

SILVIO GOLZIO

CAPO UFFICIO RILEVAZIONI ECONOMICHE
DELL'UNIONE PROVINCIALE FASCISTA LAVORATORI DELL'INDUSTRIA DI TORINO

Notizie statistiche sulle materie prime alcooligene in Italia e Colonie, in relazione all'economia della loro produzione e del loro impiego.

RIASSUNTO. — *Esaminato l'andamento della produzione delle principali materie alcooligene, se ne rileva la diversa importanza e insieme l'alta variabilità.*

Si osserva come, l'aumento della produzione e la destinazione di una parte notevole ai fini della nuova politica dell'alcool carburante, facciano sorgere complessi problemi di concorrenza, fra le varie destinazioni delle aree coltivabili disponibili, e fra i diversi possibili impieghi delle materie alcooligene e dell'alcool; si accenna altresì alle ripercussioni sulle condizioni di esercizio dell'industria vinicola.

Sorto il problema del risparmio degli idrocarburi di importazione, nel quadro della politica autarchica e ai fini di assicurare per ogni evenienza l'indipendenza del nostro paese per i rifornimenti in questo delicato settore, l'attenzione dei tecnici si è portata sulle materie prime adatte alla distillazione, offerte dalla nostra agricoltura.

La nuova politica del carburante, posta allo studio nel 1934 così da permettere con il R. D. L. 27 aprile 1936-XIV, n. 635, un nuovo assetto nella produzione e nell'impiego dell'alcool, ha trovato un'attrezzatura industriale preesistente, collegata alla lavorazione della bietola ed alla produzione vitivinicola. Le condizioni di mercato quanto alle disponibilità di materie prime, i prezzi di costo, le possibilità di impiego dei prodotti ottenuti congiuntamente all'alcool, limitavano a casi eccezionali l'impiego di altre sostanze zuccherine e di materie amilacee.

In queste condizioni si spiega facilmente come la Corporazione si sia orientata verso l'incremento della produzione di alcool da

sostanze zuccherine già fermentate e dai sottoprodotti dell'industria saccarifera. Solo successivamente sono state incoraggiate nuove iniziative per lo sfruttamento di altre materie prime.

Lo statistico che raccolga materiale per documentare lo sviluppo di questo importante settore industriale, dispone di sicure fonti per una lunga serie di anni quanto alla disponibilità di bietole, melassi, vino, non così per i prodotti di quelle colture che solo recentemente vennero eseguite su scala industriale.

Tale ad esempio, il caso del sorgo, il quale, benchè conosciuto in Italia da molto tempo, è stato coltivato per poche centinaia di ettari in via sperimentale nella campagna 1936-37. La superficie è stata poi estesa a 1400 ha. nel 1938 e si prevedono 3 mila ha. nel corrente anno, procedente di pari passo l'attrezzatura industriale; è infatti del 18 ottobre scorso l'inizio della costruzione, oggi assai avanzata, di una nuova distilleria nella zona di Maccarese la quale disporrà inizialmente di 1200 successivamente di 4 mila ettari di coltura.

Così pure non si può ancora parlare di rilevazioni statistiche nel caso dell'utilizzazione chimica del legno, anche se si riconoscono, come è apparso dalle discussioni in Corporazione, larghe possibilità di sviluppo in questo campo, e se ormai due impianti industriali sono stati autorizzati; l'uno sorgerà nel Mugello e l'altro nella Sila per la saccarificazione dei residui di lavorazione del legname e di quei materiali legnosi che non hanno i caratteri indispensabili per l'industria della cellulosa e per quella delle costruzioni [1].

***

Questo premesso, si può valutare il contributo delle principali coltivazioni alcooligene alla produzione dell'alcool, sulla scorta delle rilevazioni della Direzione generale delle dogane.

Come è noto, ai sensi dell'applicazione dell'imposta di fabbricazione, gli spiriti sono divisi in due categorie; la prima comprende quelli ottenuti dalla distillazione di qualsiasi materia prima diversa dal vino, dalle vinacce, dai cascami della vinificazione e della frutta; gli spiriti ottenuti dalla distillazione di queste

---

[1] Sulle disponibilità di legname per questa industria si veda il fascicolo 3 (marzo 1939-XVII) de « La Chimica ».

	Unità	ESERCIZI FINANZIARI 1932-33	1933-34	1934-35	1935-36	1936-37	1937-38
Alcool etilico:							
Prodotto con cereali	Ettanidri	19.177	29.459	111.677	129.723	34.829	189
» con zucchero	»	—	—	—	122.498	20.059	3.151
» dalle barbabietole	»	—	—	—	79.259	357.032	558.544
Prodotto residui fabbricaz. zucchero: melassi	»	277.448	173.257	150.377	173.730	144.066	146.206
Prodotto residui fabbricaz. zucchero: acque alcooliche residuali fabbr. lievito melasso	»	39.408	81.616	66.590	119.939	75.036	64.126
Prodotto da altre materie di 1ª categ.	»	—	—	—	—	125	7.094
» con vino	»	41.414	48.451	15.681	108.462	168.555	36.753
» con vinacce	»	71.640	38.617	36.479	47.735	45.811	52.663
» da altre materie di 2ª categoria	»	1.048	1.614	5.028	5.264	14.202	69.382
Passato al consumo pagando l'imposta	»	97.139	83.815	76.923	81.401	87.886	105.057
Passato all'industria dell'aceto	»	2.658	2.357	3.547	2.606	1.252	2.278
Passato al consumo adulterato	»	365.730	314.847	319.372	647.556	733.521	853.672
Estratto dai magazzini per l'esportaz.	»	796	1.150	785	7.940	10.190	6.366
Esportato in natura, o nei vini, liquori e cognac	»	1.053	1.529	964	6.836	10.859	7.573
Rimasto nei magazzini alla fine del periodo	»	91.915	62.438	47.315	96.120	121.574	86.829

ultime materie sono detti di seconda categoria. La prima interessa una ventina di distillerie industriali; la seconda un numero notevolissimo, oggi oltre un migliaio (1897 nel 1926), di piccole distillerie. Sulla base di questo criterio fiscale si rileva il seguente andamento della produzione dell'alcool:

Esercizi finanziari	Spirito di categoria 1ª (ettanidri)	Spirito di categoria 2ª (ettanidri)	Passato al consumo adulterato (ettanidri)
1925-26	329.869	67.516	194.793
1926-27	449.490	55.744	217.086
1927-28	406.806	52.261	220.257
1928-29	425.696	73.758	266.250
1929-30	398.372	111.059	285.441
1930-31	384.145	104.864	343.442
1931-32	345.504	74.598	339.963
1932-33	336.033	114.102	365.730
1933-34	284.332	88.682	314.847
1934-35	328.644	57.188	319.372
1935-36	625.149	161.461	647.556
1936-37	631.147	228.568	733.521
1937-38	779.310	158.798	853.672

Per gli ultimi sette esercizi la classificazione è più dettagliata. Dalla tabella riportata in allegato risulta che il posto principale nella produzione dell'alcool è occupato dalla bietola: su una media di 995 mila ettanidri prodotti nei due ultimi esercizi, 457 mila, e cioè la metà circa furono ottenuti dalle bietole, 220 mila da residui di fabbricazione dello zucchero, mentre seguono a notevole distanza, i quantitativi ottenuti dal vino, dalle vinacce, dallo zucchero e da altre materie.

L'esame della tabella riportata poco sopra mette in evidenza anzitutto la profonda trasformazione verificatasi nell'andamento della produzione dell'alcool dopo il 1934. A partire da quest'anno le cifre crescono fortemente come effetto della politica del carburante, in atto nel nostro paese; il periodo precedente è caratterizzato dalla grande onda ciclica, provocata dalla crisi mondiale, che tutte le successioni di dati economici mettono concordemente in evidenza.

Altra constatazione di notevole importanza è quella relativa alla grande variabilità dei dati, anche a prescindere dagli ultimi anni nei quali ha agito energicamente l'intervento po-

litico. L'indice di variabilità (scostamento quadratico medio relativo) per il decennio 1925-1935 risulta infatti del 13% e del 28% rispettivamente per l'alcool di 1ª e di 2ª categoria. La variabilità è particolarmente alta per la produzione ottenuta dalla distillazione di sostanze vinose in connessione coll'estrema variabilità dei raccolti dell'uva (il quantitativo di vino prodotto in ciascuno degli anni del decennio ha variato da un minimo di 30 milioni a 47 milioni di ettolitri). Benchè il confronto sia reso meno evidente dall'azione perturbatrice dei prezzi e dalla tendenza all'aumento del consumo dell'alcool, la relazione fra le variazioni della produzione vinicola e quelle della produzione dell'alcool, appare abbastanza visibile anche senza nessuna elaborazione, dall'esame della seguente tabella e del grafico allegato (fig. 2):

Fig. 1. — Numeri indici della produzione:
di alcool di 1ª categ. . . . . ———
di alcool di 2ª categ. . . . . - - - - -
dell'alcool adulterato passato al consumo . ··········

Anni	Produzione di vino in migliaia di ettolitri	Esercizi finanziari	Produzione di spirito di 2ª categoria (ettanidri)
1925	45.367	1925-26	67.516
1926	37.076	1926-27	55.744
1927	35.650	1927-28	52.261
1928	46.823	1928-29	73.758
1929	41.050	1929-30	111.059
1930	36.333	1930-31	104.864
1931	36.332	1931-32	74.598
1932	45.412	1932-33	114.102
1933	33.035	1933-34	88.682
1934	30.873	1934-35	57.188

Del resto questa connessione risulta anche dai dati recentissimi; il non felice andamento dell'ultima campagna agraria ha avuto infatti ripercussioni negative sulla produzione dell'alcool. In mancanza dei dati per tutto l'esercizio 1938-39, ecco il confronto tra il 1937 ed il 1938:

	Produzione di alcool			Passato al consumo adulterato
	1ª categoria	da vino e vinacce	da altre materie di 2ª categoria	
1937 - Ettanidri	818.698	108.528	33.943	880.216
1938 - »	241.722	90.009	96.674	494.988

Come si vede i dati segnano un regresso verso la media del decennio. Rimane dunque acquisita questa assai importante constatazione dell'alta variabilità dei quantitativi dei prodotti offerti dalle coltivazioni alcooligene.

Un cenno ora allo sviluppo nel tempo di queste colture. Nelle ultime tre campagne è notevolmente aumentata la superficie destinata alla coltivazione delle bietole, da 80.190 ad oltre 130 mila ha., aumentata la loro produzione ed aumentata altresì la produzione dello zucchero che, dopo i quantitativi minimi del 1932-33, tende a raggiungere i massimi livelli del periodo precedente la crisi.

150
100
50
1925
1930
1935

Fig. 2. — Numeri indici della produzione:
del vino . . . . . ———
(*) dell'alcool di 2ª categ. - - - - - -
base-media 1925-1934.

(*) I dati della produzione dell'alcool si riferiscono agli esercizi finanziari 1925-26, 1926-27, ecc.

A questo punto è necessario rilevare un altro fatto di notevole importanza: all'aumentata produzione ha corrisposto un parallelo aumento nel consumo dello zucchero. Alcune cifre eloquenti:

1934	Q.li	3.220.380
1935	»	3.383.660
1936	»	3.360.130
1937	»	3.767.910
1938	»	4.012.223

Si tratta, come si vede, di un aumento del 24 %, dovuto sia ad aumento generale dell'uso dello zucchero sia alla più intensa produzione di marmellate (1).

Su questa questione ritornerò brevemente in seguito.

Per ultimo si devono avere presenti i dati relativi alla produzione del vino; essi presentano piuttosto stazionarietà e regresso che aumento per un complesso di circostanze che qui non interessano, mentre è rilevante il fatto in sè per quanto riguarda la quantità di prodotto da passare alla distillazione.

***

Prima di procedere oltre è necessario aprire una breve parentesi sulle coltivazioni alcooligene nelle colonie.

Attualmente la produzione di materie prime da destinare alla distillazione vi è limitata alla canna da zucchero. La relativa coltivazione già estesa ed in corso di ulteriori ampliamenti per conto della « Sais » in Somalia, verrà anche iniziata nel medio Auasc e nell'Hararino.

Bisogna però tenere presente che questo sviluppo non può immediatamente provvedere al quantitativo massimo di alcool impiegabile, data anche la eccezionale importanza che assumono nei trasporti nell'Impero gli automezzi.

Inoltre la produzione economica dell'alcool suppone la possibilità di utilizzazione degli altri prodotti ottenuti dalle coltivazioni alcooligene, problema assai delicato e complesso trattandosi di un'economia in via di formazione.

Fortunatamente la soluzione del problema dell'autarchia dei carburanti nell'Impero potrà avere un notevole contributo dall'impiego dei carburanti solidi di origine vegetale.

Le piante da legna e da carbone costituiscono una preziosa riserva di combustibile per i gassogeni.

---

(1) Il quantitativo di zucchero impiegato nelle marmellate è passato da 20-30 mila q.li nel 1925-28 ad oltre 150 mila negli ultimi anni, in conseguenza dello sviluppo di questa industria, sia per le condizioni di favore nell'acquisto dello zucchero, sia per i perfezionamenti tecnici che ne hanno ridotti i costi, sia per le nuove forme di prodotto offerte al consumo. Si deve notare che lo sviluppo dell'industria tende a sostituire la produzione casalinga delle marmellate limitando questo consumo domestico dello zucchero.

***

A questo punto ci si può chiedere quale è il quantitativo di alcool carburante disponibile, nelle attuali condizioni di estensione e di produzione delle colture alcooligene e ferme rimanendo le attuali destinazioni di consumo dello zucchero e del vino.

Come è stato autorevolmente riconosciuto al Comitato Corporativo dello zucchero, calcolando una produzione di 3,6 milioni di Q.li di zucchero, e la destinazione per la produzione ad alcool di un quantitativo di bietole non inferiore a quello dell'ultimo esercizio, si può raggiungere il milione di ettanidri; altri duecentomila si possono avere dalla distillazione del vino e vinacce. Questo quantitativo è insufficiente a miscellare nella misura del 20% la benzina da passare in un anno al consumo, pur valutando questo prudenzialmente a 500 mila tonn.

Tanto più è insufficiente il quantitativo di alcool, in quanto oltre 400 mila ettanidri devono essere destinati ad altri impieghi, alcuni dei quali di importanza non minore di quelli considerati per l'alcool carburante ed in via di aumento: così la quantità di alcool passato al consumo pagando l'imposta è aumentata dal 1936 al 1938 rispettivamente da ettanidri 79.413 a 107.016.

Per fare fronte al piano di consumo di alcool carburante cui ho fatto cenno è necessario accrescerne la produzione estendendo la superficie destinata alle coltivazioni alcooligene ed assicurando i quantitativi voluti di vini e vinacce da distillare.

Queste affermazioni conducono al secondo aspetto della questione in studio e cioè ai problemi economici che nascono da questo piano, la cui portata è assai vasta perchè implica una maggior estensione di colture dell'ordine di 30-50 mila ettari ed un aumento nei quantitativi di vino che i produttori devono consegnare per la distillazione.

Quali sono questi problemi economici?

A prescindere dalle questioni dei costi, che formano oggetto di altra relazione, e supposta superata ogni questione tecnica, dal punto di vista economico si pongono i seguenti interrogativi:

a) Concorrenza delle coltivazioni alcooligene ad altre coltivazioni e viceversa.

b) Concorrenza fra le varie utilizzazioni delle materie prime che possono destinarsi alla produzione dell'alcool.

c) Concorrenza fra loro dei vari possibili impieghi dell'alcool.

Si tratta in sostanza della correlazione nella formazione e nella dinamica dei prezzi e nel movimento della produzione e degli scambi di beni a offerta o domanda concorrente.

Quanto al primo punto si riconosce di solito la convenienza autarchica della sostituzione della coltivazione della bietola ad altre, anche importantissime colture come quella del frumento, ben inteso ove le esigenze agricole lo permettano. D'altra parte la bietola non si coltiva oggi in un ristretto numero di provincie, ma è assai diffusa, il che facilita la estensione delle colture là dove esistono impianti industriali in esercizio o in costruzione. Non è quindi a temere la concorrenza della coltura bieticola ad altre coltivazioni, è piuttosto a temere l'inverso.

Pare infatti che anche al prezzo di una lira per grado, sulla base delle rese della media dell'ultimo decennio, la bietola malamente regga alla concorrenza del frumento quotato a 130-140 lire e del granoturco il cui prezzo oggi tende a superare le lire 90 al Q.le. Tale fatto si è già verificato nella passata campagna e potrebbe aggravarsi, mentre un aumento del prezzo delle bietole si ripercuoterebbe evidentemente in modo troppo gravoso sul costo dello zucchero e dell'alcool.

Il problema della concorrenza fra i vari possibili impieghi dell'alcool pare meno grave, data la efficacia dei controlli e della disciplina corporativa per quanto riguarda la distribuzione ed il prezzo di questo prodotto; tuttavia esso sussiste, come ho detto, data la relativa scarsità dell'alcool e l'incremento del suo consumo per usi industriali vari.

Più complessa si presenta invece la questione circa i diversi impieghi cui possono servire le materie prime alcooligene.

Infatti il consumo dello zucchero, come è augurabile, può ulteriormente e largamente estendersi, dato il basso consumo unitario degli italiani, e dato lo sviluppo veramente benefico dell'industria delle marmellate; interessantissima industria questa, sia per il sano alimento che offre impiegando una impareggiabile ricchezza delle nostre terre, la frutta, sia per le possibilità di esportazione con rilevante vantaggio valutario.

Più delicata ancora è la situazione per quanto concerne la distillazione dei vini. Essa ha avuto indubbiamente, nel primo esperimento di destinazione obbligatoria di parte del prodotto a questo impiego, l'effetto di accrescere i costi e i prezzi del vino.

È noto lo stato di disagio cronico di questo importantissimo settore dell'agricoltura italiana, che, oltre ai rischi connessi alla coltivazione, da anni subisce il danno di una graduale contrazione

delle vendite sia all'interno che all'estero. Aumenti di prezzo non possono che ripercuotersi sfavorevolmente sull'industria vinicola. A questo proposito bisogna tenere presente che la nostra esportazione di vini costituisce una forte posta attiva della bilancia commerciale (281 milioni nel 1938), la cui importanza non può essere sottovalutata, anche a difesa della nostra viticultura cui sono connessi tanti interessi nel paese.

In anni di superproduzione la distillazione può essere un prezioso sussidio e in questo senso è auspicata dai viticultori per le eccedenze di vino di qualità poco gradita al consumo; ma la disciplina che regola questo particolare impiego del vino, se vuole compiere opera feconda, deve adattarsi alla variabilità dei raccolti ed alle particolari condizioni dell'industria vinicola, come del resto già si è fatto.

Da questo punto di vista altrettanto è a dire, sebbene in modo meno assoluto, per la coltivazione delle bietole; infatti i bieticoltori hanno accolto con favore la nuova destinazione dei loro prodotti, intesa come un volano per mantenere un andamento, per quanto possibile, costante alle colture ed all'industria saccarifera.

Segue dalle considerazioni esposte che la produzione in Italia dell'alcool, ottenuto da materie prime vegetali, è strettamente connessa ad un sistema agricolo industriale di importanza rilevantissima, soggetto a notevole variabilità nei quantitativi di materia prima disponibile e, per quanto riguarda il vino, dipendente anche dall'andamento dei mercati esteri.

Da questi fatti nascono maggiori difficoltà a stabilire una disciplina della produzione e del consumo dell'alcool, che non disturbi altre essenziali attività economiche del paese, e minore garanzia di poter disporre con sicurezza di una determinata quantità di prodotto.

Di fronte a queste difficoltà, che non possono essere sottovalutate, rimane tuttavia la sicurezza di avere specialmente in periodi di emergenza una ricca fonte di alcool. Una ponderata espansione delle colture alcooligene, specie bietola e sorgo, e insieme una disciplina, abilmente e tempestivamente manovrata a seconda delle esigenze dell'industria saccarifera e vinicola, possono assicurare insieme ad una maggiore disponibilità della preziosa materia prima, una nuova ragione di operosa e redditizia attività alla nostra agricoltura.

INDICE

IV GRUPPO

Relazioni fra la composizione delle benzine e la loro efficenza nei motori.

V GRUPPO

Economia dei combustibili solidi nazionali nella produzione e nella utilizzazione del calore.

VI GRUPPO

Succedanei alcoolici delle benzine.

VII GRUPPO

Problemi economici dell'impiego dell'alcool.

I COMBUSTIBILI NAZIONALI ED IL LORO IMPIEGO

Convegno di Torino dei giorni 6, 7 e 8 Maggio 1939-XVII.

CONTRIBUTI AI PROBLEMI AUTARCHICI

PROMOSSI DALLA

REALE ACCADEMIA DELLE SCIENZE DI TORINO

TORINO
R. ACCADEMIA DELLE SCIENZE
1939-XVIII

I COMBUSTIBILI NAZIONALI ED IL LORO IMPIEGO

Convegno di Torino dei giorni 6, 7 e 8 Maggio 1939-XVII.

CONTRIBUTI AI PROBLEMI AUTARCHICI

PROMOSSI DALLA

REALE ACCADEMIA DELLE SCIENZE DI TORINO

TORINO
R. ACCADEMIA DELLE SCIENZE
1939-XVIII

CENNO STORICO E PROGRAMMA DELLA RACCOLTA DI STUDI SUI COMBUSTIBILI

Ragioni e fondamento della iniziativa.

La Reale Accademia delle Scienze di Torino si è fatta iniziatrice di un coordinamento di studi sui Combustibili Nazionali e sulla loro utilizzazione, come segno della sua partecipazione al programma di attività autarchiche assegnato alla Nazione, e come saggio della collaborazione culturale, che le Accademie possono vantaggiosamente promuovere per favorire il progresso nella risoluzione dei problemi di grande portata e di viva, palpitante attualità.

Il risultato della iniziativa è costituito dalle monografie che il presente volume raccoglie e coordina in una serie di temi, nei quali l'amplissimo argomento si può suddividere.

Il finanziamento necessario fu reso possibile da una sovvenzione straordinaria, che, con atto magnanimo, il Duce accordò nel febbraio dell'anno 1938 all'antico Sodalizio Subalpino per sanarne il bilancio gravato da condizioni anormali di esercizio. La sovvenzione, oltre al pareggio, permise alcune rimanenze attive della gestione dell'anno XVI, e il Consiglio di Amministrazione le destinò al presente scopo, per dimostrare la rispondenza dell'Accademia di Torino all'indirizzo verso il quale tutta l'Italia fa convergere, in questo periodo, i suoi sforzi.

Nè poteva il nostro glorioso Sodalizio disinteressarsi ad una collaborazione tanto significativa, alla quale la Città di Torino diede con la sua bellissima Mostra un così brillante contributo.

Nella storia quasi due volte centenaria dell'Accademia sono di fatto frequenti i segni della sua attività per la risoluzione dei problemi tecnici ed economici, sociali e militari, che nelle ore gravi del suo divenire la Patria propone allo studio dei suoi cittadini particolarmente competenti.

***

In tesi generale, poi, il coordinamento degli studi su di un tema di interesse nazionale non risponde soltanto alle finalità che esso direttamente propone, ma si deve considerare come uno dei più efficaci impulsi al progresso scientifico.

Poichè, ad esempio, in tema di Autarchia, il concorso di competenze diverse nella ricerca di surrogati delle materie prime che ci fanno difetto, ed in quella dei procedimenti idonei per trarre dalle nostre disponibilità il massimo effetto utile, crea un clima eccezionalmente favorevole alle scoperte. È ben noto di fatto che esse, non di rado, risultano in direzioni diverse da quelle nelle quali l'indagine fu avviata, grazie ai legami infinitamente vari, che i problemi scientifici e tecnici presentano fra loro.

Possono così le Accademie rinnovare ai tempi nostri quello che fu loro precipuo compito nel passato, favorendo gli scambi culturali fra i Soci, che il progresso della specializzazione scientifica odierna rende meno facili, ma che tuttavia costituiscono un mezzo fecondo di risultati ed un impulso alla elevazione del pensiero scientifico, che non può essere davvero potente senza qualche carattere di universalità.

La scelta dell'argomento.

Nel quadro estesissimo delle attività autarchiche non fanno certo difetto gli argomenti idonei ad una trattazione collettiva.

Il tema dei combustibili, tuttavia, primeggia per la sua vastità, per l'importanza dominante in ogni settore della vita economica del paese e per la molteplicità delle competenze occorrenti a trattarlo.

Appunto per questo poteva sembrare troppo ardimento affrontarlo con mezzi così modesti, e d'altra parte, verso di esso, si erano già orientati numerosi Convegni di studio con programma più o meno particolare.

Nella 27ª Riunione della Società per il Progresso delle Scienze, in Bologna, trattandosi in tutta la sua ampiezza il problema autarchico, era stato affidato a S. E. il prof. Puppini il compito di svolgere in un discorso l'argomento dei combustibili: e la sua Relazione, letta nell'adunanza del 5 settembre 1938, riuscì una sintesi magistrale delle disponibilità, dei bisogni e degli indirizzi, nei quali le ricerche, i trattamenti e l'impiego dovevano svolgersi.

Accanto ad essa importa citare la estesa relazione dell'ing. Sorrentino sul contributo dei combustibili succedanei e di sintesi nella trazione automobilistica, presentata in quella stessa Riunione.

Nel medesimo anno, pure in Bologna, in occasione della Fiera, i giorni 30 e 31 maggio, aveva avuto luogo il I Convegno del gas metano, che si ripetè nell'anno in corso e nella medesima sede, centro della regione Emiliana, che, col Delta del Po, costituisce il nostro grande serbatoio di gas combustibili naturali.

I Rendiconti della Sezione per lo studio dei combustibili del Politecnico di Milano, pubblicati negli anni 1932-38 contengono una ricca serie di studi e di ricerche, dalle quali le caratteristiche dei nostri combustibili risultano largamente documentate.

La Reggenza del Gruppo Ingegneri Termotecnici aveva nominato apposita Commissione per studiare la utilizzazione degli olii minerali, provenienti sia dalle roccie, sia dalle ligniti; ed essa pubblicò nel febbraio 1937 una estesa Relazione redatta dal suo Presidente ing. Mario Speluzzi, negli Atti del Sindacato Ingegneri Lombardi.

Le grandi Aziende parastatali dei Petroli (A.G.I.P.), della idrogenazione dei carburanti (A.N.I.C.) e del Petrolio Albanese (A.I.P.A.), in possesso di potenti attrezzature per la ricerca, l'estrazione ed il trattamento dei combustibili liquidi, hanno fatto procedere a passi rapidissimi il problema della nostra autonomia in questo settore così sfavorevole, ed hanno dato notizia dei procedimenti adottati e dei risultati ottenuti. Citiamo fra le comunicazioni di carattere ufficiale quelle presentate dall'A.I.P.A. al Congresso internazionale del Petrolio tenutosi a Parigi nel 1937: sullo sfruttamento del bacino petrolifero di Devoli dell'ing. Ineiden; sulla geologia dei petroli albanesi dell'ing. Maddalena e del geologo Zuber e sui sistemi di perforazione del campo di Devoli.

Il III Congresso internazionale del Carbonio carburante, tenuto in Roma nei giorni 10-15 settembre 1937, trattando dei carburanti succedanei nei loro tre stati fisici: solido, liquido e gasoso, ha, sopra tutto, esaminato il problema dei gasogeni destinati ad utilizzare i combustibili solidi al fine della carburazione, e le ragioni per le quali la potenza ottenibile con una determinata cilindrata risulta, con questi mezzi, minore di quella assicurata dalle benzine.

Gli atti del citato III Congresso, pubblicati dal Reale Automobile Club d'Italia nel 1938, offrono allo studioso notizie non solo tecniche, ma anche statistiche sul quesito ricordato, che il IV Congresso, recentemente tenuto a Liegi nei giorni 13-15 agosto del 1939, opportunamente integra.

La splendida Mostra del minerale in Roma, sintesi suggestiva delle attività valorizzatrici delle ricchezze minerarie del suolo, offriva, nel particolare settore dei combustibili, una viva e brillante presentazione dei problemi estrattivi, tecnologici e chimici, che li riguar-

dano, e doveva poi chiudersi con un Convegno destinato a commentarli, come più innanzi sarà detto.

Vasto ed autorevole complesso di documentazioni adunque è quello che tante provvide iniziative avevano preparato, e tuttavia atto a creare un serio fondamento per ulteriori studi piuttosto che ad esaurirli, trattandosi di uno di quei temi che si estendono quanto più si approfondiscono.

Presentavasi quindi spontanea la possibilità di inserire una nuova serie di ricerche, orientate, sopra tutto, verso i problemi della utilizzazione e dirette all'esame critico dei principi scientifici che, insieme con le ragioni economiche, sono atti a suggerire le soluzioni migliori. E questo fu di fatto l'indirizzo scelto dall'Accademia.

Per tradurlo in atto occorreva assicurare la collaborazione fra gli studiosi delle Scienze fondamentali: la Geologia, la Chimica, la Termotecnica, ed i competenti dei mezzi di estrazione, di trasformazione e di utilizzazione dei nostri combustibili. A tale scopo era necessario il consenso dei grandi organismi citati, ed il compito fu agevolato dalla pronta, cortese adesione di S. E. Puppini, presidente della A.G.I.P. e da quella, ottenuta per suo tramite, di S. E. Benni presidente della A.N.I.C., i quali autorizzarono i valorosi tecnici e gli illustri consulenti delle loro Aziende a portare il contributo della loro competenza.

Il programma dei lavori risultava così definito verso la metà del gennaio, e, dopo la approvazione data da S. E. Federzoni, Presidente del Consiglio nazionale delle Accademie, con la sua lettera del 21 gennaio 1939, lo studio entrava nella fase esecutiva.

Temi e Relatori.

Lo svolgimento della materia fu ordinato secondo la logica successione delle attività che il prezioso materiale richiede per la sua utilizzazione: ricerca, estrazione, trattamento e impiego.

Un primo gruppo *di relazioni fu dunque destinato ai* problemi geologici e geofisici, *relativi ai giacimenti dei combustibili sia liquidi sia solidi.*

Il socio prof. Gortani, *Direttore dell'Istituto di Geologia della Università di Bologna, si assunse il compito di trattare il* problema delle roccie madri nella ricerca del petrolio in Italia, *segnalando l'importanza di questo indirizzo per il nostro suolo povero di giacimenti petroliferi, in opposizione a quello che può valere nelle regioni in cui essi abbondano, ove ogni strato impermeabile può costituire copertura di zone di immagazzinamento degli idrocarburi naturali.*

Il socio prof. Sacco, *che nel volume del 1937 degli* Atti *della nostra Accademia aveva già inserito una nota estesa sull'origine del petrolio, aggiungerà un commento sull'approfondamento delle trivellazioni.*

L'argomento dei giacimenti carboniferi *fu affidato al prof.* Dal Piaz *dell'Università di Torino, che si propose di trattarlo con speciale riguardo alle* antraciti delle Alpi Italiane, *mettendole in relazione con la struttura tettonica delle regioni in cui esse abbondano, e segnalando la opportunità e la direzione di nuove ricerche.*

I metodi geofisici di ricerca, che ai criteri semplicemente indicatori, derivati dalla conoscenza dei caratteri strutturali e costitutivi delle roccie, sostituiscono l'uso dei rivelatori delle discontinuità e delle anomalie delle loro costanti fisiche, meritavano anch'essi una ampia trattazione.

Il prof. Dore, *direttore dell'Istituto di Geodesia dell'Università di Bologna, accolse l'invito di illustrare i metodi* gravimetrici *ed il Socio prof.* Vercelli, *direttore dell'Istituto geofisico di Trieste, acconsentì ad esporre i procedimenti adottati nell'America del Nord per applicare il* metodo sismico a riflessione, *particolarmente idoneo quando i giacimenti sono inclusi entro roccie stratificate con densità e modulo elastico diversi da strato a strato.*

Egli era stato per l'appunto incaricato dalla A.G.I.P a portarsi negli Stati Uniti, per studiarvi questi metodi di ricerca, e fu autorizzato a pubblicarne il rendiconto in questa serie di monografie.

Il 2° gruppo *comprende i* problemi tecnologici e minerari *sui* mezzi di perforazione per le ricerche petrolifere, *la cui illustrazione fu affidata all'ing.* Remo Contini, *Capo del Servizio perforazioni della A.G.I.P. e sui* processi selettivi dei costituenti del fossile, *che acconsentì a trattare il Socio prof.* Bibolini, *Direttore del nostro Politecnico, il quale aveva in corso nel suo Laboratorio di Arte mineraria ricerche originali su questo argomento.*

Il 3° gruppo *riguarda i* problemi chimici, *con speciale riguardo alla produzione delle benzine coi procedimenti di idrogenazione e di sintesi, che si vengono combinando e sostituendo ai più antichi della distillazione e della piroscissione degli olii minerali greggi, per ottenere benzine di alta efficienza. In questo importantissimo argomento, con speciale riguardo alla* idrogenazione catalitica, *si assunse l'impegno di riferire il prof.* Pastonesi *della A.N.I.C., illustrando sopra tutto la modificazione del procedimento recentemente realizzato nello stabilimento di Livorno per la* fabbricazione degli olii lubrificanti di alto valore, *con la preparazione della* paraffina *come sottoprodotto.*

D'altro lato anche i combustibili solidi possono essere utilizzati, allo stesso scopo, sia attraverso al catrame, da essi ottenuto per distillazione, sia attraverso al gas d'acqua, sottoposto ad alta pressione, ricavandone per sintesi gli alcoli e da essi l'isottano.

Di queste ricerche consentì a parlarci il prof. Natta, *Direttore del Laboratorio di Chimica industriale del Politecnico di Milano col tema* Gasificazione di combustibili e produzione sintetica di carburanti liquidi, *mentre al prof.* Baccaredda *del Consiglio Nazionale delle ricerche fu affidato il quesito della* Sintesi del di-isobutilene e di benzine isottaniche da olefine di piroscissione.

Le relazioni fra la composizione delle benzine e la loro efficienza nei motori a combustione interna *trattate nel* 4° gruppo *richiedevano una duplice dilucidazione: ricerca dei* rapporti fra struttura chimica e potere antidetonante, definito dal numero di ottano, *che il prof.* Roberti, *Direttore del Laboratorio chimico della A.G.I.P. in Roma, si assunse l'incarico di illustrare, con particolare* riferimento ad alcuni composti organici ossigenati, *e ricerca delle* relazioni fra il numero di ottano ed i limiti della detonazione nei motori a benzina *e influenza del numero suddetto sulla potenza, sul consumo specifico e sulla temperatura dei motori stessi, trattazione affidata all'ing.* Ferraro Bologna *del Laboratorio di motori a combustione interna del Politecnico di Torino.*

Il 5° gruppo *di comunicazioni riguardanti l'*Economia dei combustibili solidi nazionali nella produzione e nella utilizzazione del calore *doveva iniziarsi con una* rassegna *di essi ed una* discussione generale della loro utilizzazione, *che si assunse il compito di scrivere per questa raccolta il prof.* Padovani, *Direttore della sezione combustibili del Politecnico di Milano.*

Dato poi che i nostri carboni, non esclusi quelli della Sardegna e dell'Istria, che rappresentano le maggiori e migliori disponibilità nazionali, presentano, per l'elevato tenore di materie volatili, per la composizione delle ceneri e per il contenuto in solfo, esigenze speciali per i focolari destinati alla loro combustione, era importante trattare delle attrezzature e modalità di impiego *idonee, ed a questo scopo fu pregato l'ing.* Mazzolini, *Direttore dell'Ufficio di Torino per il controllo della combustione.*

*In questi focolai, di capacità eccedente l'ordinaria, che i combustibili a lunga fiamma esigono, ha importanza l'*utilizzazione del calore radiante *per mezzo dei* rivestimenti con tubi d'acqua delle camere di combustione. *Si incaricò quindi il prof.* Codegone

del Laboratorio di Fisica tecnica del Politecnico di Torino di esporre la teoria della trasmissione del calore per irraggiamento, *che permette di valutare il vantaggio termico dei rivestimenti suddetti nella produzione del vapore.*

Allo scopo di aumentare il rendimento delle motrici a vapore si tende oggi continuamente ad innalzare la pressione di regime delle caldaie. Ciò rende necessari metodi di calcolo più precisi per il proporzionamento economico dei fasciami, e trattamenti metallurgici speciali, perchè il materiale col quale sono costruiti conservi elevate resistenze specifiche malgrado le alte temperature. La trattazione del vasto argomento fu assunta dal socio prof. Brunelli, *Direttore del Laboratorio di macchine termiche del Politecnico di Torino, col tema* Conseguenze strutturali della evoluzione delle caldaie a vapore.

Finalmente, accanto all'economia della combustione, era opportuno riservare un cenno alla utilizzazione delle attività endogene, *che sotto forma di* soffioni, *di* acque termali *e di* solfatare *abbondano nel nostro paese.*

Una notizia generale sulla natura, sulla importanza e sulla distribuzione di queste manifestazioni era già stata promossa dall'Accademia dei Lincei, pubblicando nella serie dei suoi Problemi e discussioni *la comunicazione tenuta il 3 giugno 1938 dal Senatore Principe Piero Ginori Conti. Si pensò quindi di richiedere al professor* D'Amelio *della Facoltà di Ingegneria di Napoli la trattazione del problema riguardante l'utilizzazione dei piccoli salti di temperatura, che le fonti termiche naturali mettono a disposizione, ed il vantaggio dei vapori di alto peso molecolare, come il* cloruro di etile, *nelle macchine che usano le* acque termali come fonte di energia.

Il 6° gruppo *fu destinato al tema dei* succedanei alcoolici delle benzine, *largamente studiati allo scopo di creare con le risorse agricole un carburante di sostituzione, per ridurre la importazione dei petroli dall'estero.*

Ora il comportamento dei carburanti a base di alcole, ormai noto nel funzionamento a regime dei motori, è tuttora oggetto di discussioni nel fenomeno della ripresa.

Il socio prof. Capetti, *che, nel suo Laboratorio di motori a combustione interna del Politecnico di Torino, ha eseguito ricerche originali sull'argomento, si assunse il compito di trattare il tema* dell'alcole etilico come combustibile per motori a carburazione e ad iniezione, *con speciale riguardo al problema accennato, di cui illustrò la connessione con quello della economia di impiego negli ordinari carburatori.*

Una relazione dell'ing. Bayan *tratterà in genere della* Correlazione fra caratteristiche fisiche e chimiche dei carburanti alcoolici di sostituzione ed il loro comportamento nei motori, *deducendola da prove di potenza e consumo eseguite nella Sezione combustibili del Politecnico di Milano su carburanti composti di alcoli etilico e metilico puri e addizionati a benzine, benzolo e olii leggeri, per studiarne il comportamento con diverse registrazioni del carburatore e differenti rapporti di compressione.*

Finalmente una nota del dott. Milone *professore di Chimico-fisica nella R. Università di Torino, illustrerà nuovi metodi per il controllo della percentuale di alcole nelle miscele carburanti, fondati sulla relazione fra l'indice di rifrazione o la costante dielettrica e la concentrazione delle miscele.*

Se non che il problema degli alcoli come carburanti di sostituzione non è soltanto tecnico, ma sopra tutto economico, in quanto la spesa di combustibile necessaria alla loro fabbricazione può farne apparire l'impiego come svantaggioso rispetto ad un bilancio termico puramente quantitativo. Inoltre, nel problema generale della economia nazionale, può essere discutibile a quale impiego convenga destinare l'alcole prodotto, nonchè le materie prime idonee alla sua fabbricazione, che l'agricoltura ci fornisce.

I quesiti enunciati costituiranno quindi un 7° gruppo *di relazioni.*

Il prof. Meneghini, *Direttore dell'Istituto di Chimica industriale della Facoltà di Ingegneria di Padova, volle assumersi l'incarico di trattare il 1° quesito col tema* L'alcool etilico dei prodotti vegetali con particolare riguardo alla economia del combustibile ed alla utilizzazione dei residui, *mettendo in evidenza le diverse condizioni del bilancio termico quando si tratti della preparazione degli alcoli di purezza limitata, ma quasi anidri, atti a compiere l'ufficio di carburanti.*

Il prof. Golzio, *del Laboratorio di Economia politica dell'Università di Torino, aderì a darci le più recenti* notizie statistiche sulle coltivazioni alcooligene in Italia e nelle colonie, *ed a discutere la opportunità di estenderle,* in relazione alla economia generale della capacità produttiva del suolo.

Riunioni di studio per il coordinamento delle relazioni.

Il quadro degli argomenti costituenti il programma della presente attività ne dimostra l'ampiezza, e ne mette anche in evidenza il carattere. In omaggio alla natura dell'Istituto promotore della pubblicazione, si pensò che occorreva studiare piuttosto i fondamenti scien-

tifici dei problemi, anzichè le direttive pratiche di realizzazione che altre organizzazioni, meglio attrezzate sotto questo punto di vista, hanno già considerato e potranno con successo perfezionare.

Per definire poi nel miglior modo i confini delle singole trattazioni, e dare agli Autori il modo di assicurarne, per quanto possibile, il coordinamento, si indissero, per i primi giorni dello scorso maggio, riunioni di studio, alle quali furono invitati i Relatori, i Soci dell'Accademia ed i competenti dei diversi temi, nei quali il problema dei combustibili era stato suddiviso.

Le riunioni ebbero luogo nei giorni 6-7 ed 8 maggio, mentre la Città di Torino era fervida di opere per l'imminenza della auspicata visita del Duce, e la Mostra dell'Autarchia stava per riaprirsi in veste rinnovata, per presentare in una sintesi espressiva le iniziative e le realizzazioni più notevoli del Piemonte autarchico.

Furono distribuite in bozze le relazioni già pervenute alla Segreteria dell'Accademia e furono lette e discusse sia quelle già stampate, sia quelle solo parzialmente elaborate dai Relatori.

Le giornate di studio diedero i loro frutti nella redazione definitiva delle relazioni ed in alcune aggiunte che sono inserite a complemento di esse. Particolare importanza ebbero le discussioni dei giorni 6 e 7 maggio: la prima sulla preparazione delle benzine sintetiche e sul diverso grado di convenienza dei procedimenti di realizzazione: la seconda sull'uso dei succedanei delle benzine, le quali discussioni sono documentate dalle appendici inserite rispettivamente al termine del 3° e del 6° gruppo di Comunicazioni.

Nella giornata del 7 maggio l'ing. Pastonesi illustrò con una suggestiva cineproiezione gli impianti di Livorno per la idrogenazione del petrolio.

Alle Direzioni della A.G.I.P. e della A.N.I.C. per le autorizzazioni concesse ai loro valorosi consulenti e tecnici, provvedendo anche alle loro spese di viaggio, l'Accademia di Torino esprime la sua gratitudine, riconoscendo da esse il più efficace contributo al successo delle giornate di studio.

Il Convegno nazionale dei combustibili.

Frattanto, come è già stato detto, in occasione della chiusura della grandiosa Mostra Autarchica del Minerale italiano in Roma, il Comitato direttivo di essa aveva preordinato un Convegno nazionale dei Combustibili, diramandone gli inviti verso la metà di aprile, e fissando le giornate di riunione il 3 ed il 4 maggio sotto la presidenza di S. E. Puppini.

Le 5 sezioni del Convegno riguardanti — la ricerca e l'estrazione dei carboni — la ricerca dei giacimenti petroleiferi — la estrazione di olii da roccie asfaltiche e da scisti bituminosi — il ricavo di carburanti da olii, da carboni e da ligniti e la utilizzazione dei gas naturali e di raffineria, raccolsero una brillante serie di comunicazioni.

Esse sono state recentemente pubblicate in un volume finito di stampare il 20 settembre dell'anno in corso, che costituisce una preziosa enciclopedia del problema, degna davvero di essere segnalata all'attenzione di tutti gli studiosi. Tuttavia essa nulla toglie all'interesse degli studi coordinati dalla Accademia di Torino.

In vero, anche nei temi comuni alle due Collezioni, quali quelli delle prime due tesi e della 4ª del Convegno di Roma, che corrispondono ai gruppi 1° e 3° del presente programma, l'indirizzo prevalentemente applicativo delle monografie del Convegno si differenzia da quello prevalentemente scientifico delle note qui raccolte.

Il Convegno di Roma ha poi trattato a fondo i problemi della utilizzazione delle roccie asfaltiche e degli scisti bituminosi, nonchè quelli dei gas naturali e di raffineria che l'attività documentata in queste pagine non considera.

*Per contro i gruppi 4°, 5°, 6° e 7° del presente Volume, e cioè l'*economia dei combustibili solidi nazionali nella produzione del calore, le relazioni fra la composizione delle benzine e la loro efficienza nei motori a combustione interna, il modo di operare in essi dei succedanei alcoolici ed i problemi economici della loro fabbricazione *riguardano argomenti che il Convegno di Roma non ha sistematicamente trattato e che queste pagine considerano sotto i molteplici suoi aspetti.*

Così le due attività indirizzate agli studi dei combustibili nazionali vengono ad integrarsi, documentando quanto nell'anno XVII seppe operare la fede ardente degli scienziati e dei tecnici italiani per l'avvenire di una possibilità, che ci sembrava fatalmente preclusa dalla dolorosa povertà mineraria, in questo settore, del nostro suolo, ma che sta per essere raggiunta dal fascio delle forze intellettuali e produttive della Nazione, così provvidenzialmente incitato e diretto dalla mano sicura che guida i destini d'Italia.

M. Panetti
Presidente della Reale Accademia
delle Scienze di Torino

I Gruppo.

PROBLEMI GEOLOGICI E GEOFISICI

MICHELE GORTANI

DIRETTORE DELL'ISTITUTO DI GEOLOGIA DELLA R. UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Il problema delle rocce madri nella ricerca del petrolio in Italia.

RIASSUNTO. — *Rilevata l'importanza che per le ricerche petrolifere in Italia ha il problema delle rocce madri, si dà un prospetto della distribuzione di esse (o di quelle che l'autore ritiene tali) nella serie geologica dei nostri terreni, venendo alla conclusione che siano da considerare più importanti, a tale riguardo: nel sottosuolo Padano, il potente complesso argillo-sabbioso miocenico, e nell'Appennino le argille scagliose e le analoghe formazioni fliscioidi.*

1. *Impostazione del problema.* — L'esperienza ci ha insegnato come le regole classiche per la ricerca del petrolio possano avere solo in certi casi utile applicazione nel nostro paese. Ci si è provati molte volte ormai, nelle regioni italiane che offrono manifestazioni petrolifere apprezzabili, a ricercare le posizioni strutturalmente più favorevoli di complessi stratigrafici comprendenti termini atti ad essere impregnati e convenientemente protetti; ma ci si è trovati per lo più di fronte a circostanze che rendevano impossibile l'applicazione del metodo, per motivi svariati: ora la non corrispondenza delle strutture superficiali con quelle più profonde che occorreva sondare; ora la mancanza di strutture definite nei complessi ritenuti fertili (come è di regola, p. es., nelle argille scagliose e formazioni similari); ora l'impossibilità o l'estrema difficoltà di rilevare, anche con i mezzi attuali della tecnica geofisica, le strutture profonde di complessi litologicamente troppo poco eterogenei; ora, e frequentissima, la coincidenza delle manifestazioni di idrocarburi con i punti tettonicamente più tormentati e complicati della geologia italiana.

Per tali ragioni è venuto assumendo sempre maggiore importanza presso di noi, in questi ultimi tempi, il problema delle rocce madri degli idrocarburi, come quelle che possono fornire utili elementi per la ricerca di giacimenti primari.

Punto di partenza è il concetto, ormai accolto da tutti i geologi del petrolio, che questo si sia originato in seno a depositi di fanghiglie sottili (per lo più argillose o marnose, ma talvolta anche calcaree) ricche di detriti organici, chiamate fanghiglie «sapropelitiche», per effetto di una lenta fermentazione anaerobia; che gli idrocarburi, provenienti da trasformazione dei grassi vegetali e animali, siano poi soggetti ad una lenta migrazione dalle rocce madri argillose alle rocce permeabili inglobate in esse o con esse a contatto, dando luogo in tal modo alle impregnazioni primarie.

Nei paesi ricchi di petrolio, ogni complesso sedimentario in cui si alternino terreni permeabili, suscettibili di essere impregnati, con terreni impermeabili, atti a fungere da copertura protettiva, può essere esplorato con probabilità di incontrarvi giacimenti primari, oppure giacimenti secondari, derivati cioè da successive migrazioni degli idrocarburi lungo vie di frattura e loro nuovo accumulo in rocce atte a fare da magazzino. È evidente come in tali casi la ricerca di cui ci stiamo occupando sia considerata superflua, e geologi e geofisici siano chiamati essenzialmente per individuare le strutture favorevoli all'accumulo del petrolio.

Ben diverso è il caso di paesi poveri, come il nostro, del prezioso minerale. Individuare le rocce madri, rappresenta qui un ausilio potente alle indagini, e permette di basarle sopra una razionale ipotesi di lavoro che serve di guida nelle infinite incertezze fra cui, sarebbe vano nasconderlo, tuttora si svolgono le ricerche non ostante gli sforzi tenaci ed appassionati con cui sono condotte.

Per tali ragioni, mi è sembrato utile di presentare a questo convegno, che la Reale Accademia delle Scienze di Torino ha promosso con squisito senso di opportunità per lo studio di questioni inerenti al grande problema autarchico dei combustibili, un prospetto della distribuzione delle rocce madri di idrocarburi nella serie geologica dei terreni italiani, quale risulta dallo stato attuale delle nostre conoscenze.

2. *Quaternario e Pliocene.* — Questi terreni recenti, che in alcuni paesi (come la California) presentano termini oleiferi importanti, non ne contengono affatto nelle nostre contrade. Il metano che si svolge dai terreni quaternari della bassa pianura Padana, e, in minor grado, di altre colmate alluvionali come quella dell'Arno, è di regola una emanazione proveniente da letti torbosi sepolti nelle alluvioni medesime. Conviene ricordare come tali emanazioni siano da considerarsi effimere, data l'estensione necessariamente limitata dei depositi torbosi e il rapido esaurirsi dei

gas che ne provengono: esempio eloquente fu la pronta inutilizzazione delle tubature che durante la grande guerra erano state messe in opera onde utilizzare il gas del sottosuolo pisano. Non si può certo escludere che anche nella bassa pianura del Po si facciano strada attraverso la copertura alluvionale, come avviene più a monte, emanazioni gassose sprigionantisi dai sottoposti terreni terziari; ma tal caso un'accurata analisi chimica dovrebbe rivelare almeno qualche traccia di idrocarburi superiori.

Sono pure da ritenere effimere le manifestazioni gassose metanifere note sotto il nome di « bròmboli » presso Rovigno ed in qualche altro punto della costa istriana; emanazioni che provengono secondo ogni probabilità da accumuli di detriti vegetali convogliati da acque carsiche a sbocco sottomarino.

In seno alle argille plioceniche si aprono in varie località dell'Appennino, sopra tutto nell'Emilia, le cosiddette « salse ». Queste emissioni saltuarie di acqua e gas, che attraversando la coltre argillosa diventano eruzioni di fango, sono manifestazioni di origine profonda, connesse con le emanazioni gassose che si sprigionano dai terreni fliscioidi, e alle quali accenneremo fra breve.

3. *Miocene superiore.* — Il piano Messiniano (l. s.) e Pontico (l. s.), con cui termina la serie dei terreni miocenici, è risultato finora scarsamente produttivo da noi, in contrasto con l'importanza eccezionale che esso ha nell'Oriente europeo. Si può pensare che ciò sia in relazione con la natura diversa dell'ambiente di sedimentazione: i depositi di questo periodo presentano in Italia notevole varietà di facies, ma per lo più hanno carattere di sedimenti lagunari in clima arido (formazione gessoso-solfifera), oppure di sedimenti littoranei con prevalenti depositi sabbiosi e ciottolosi e subordinati depositi argillosi o marnosi.

Impregnazioni e manifestazioni di idrocarburi per vero non mancano. In seno alla formazione gessoso-solfifera sono talora così appariscenti, che ad esse è stata attribuita, da una delle varie ipotesi tiogeniche, la formazione dei giacimenti di solfo per riduzione dei gessi. Le ricerche fatte sia nell'Appennino Romagnolo, sia nelle vaste zone solfifere siciliane, mentre hanno portato ad escludere la convenienza di utilizzare praticamente gli idrocarburi diffusi in questa formazione, hanno lasciato incertezze sulla origine di essi; almeno in certi casi, rilevati dal prof. Fabiani in Sicilia e da me nelle Romagne, sembrano migrati « per ascensum » da terreni argillosi fliscioidi.

A Miano, sotto Corniglio (val Parma) si hanno impregnazioni di idrocarburi leggeri nel Messiniano a facies littoranea; ma anche qui la roccia madre è da ricercarsi in sottostanti argille scagliose. Secondaria pare l'origine dei gas accumulati nel sottosuolo padano presso Podenzano (Piacenza), in seno a lenti di ghiaiette e di sabbie comprese nella serie messiniana, serie che ha appena una quarantina di metri di potenza complessiva e non comprende termini che si possano chiaramente indicare come rocce madri, mentre l'estrema leggerezza degli idrocarburi sembra implicare una lunga filtrazione, forse dal complesso mesomiocenico a cui accenneremo fra poco. Non è affatto da escludere, per altro, che nel sottosuolo padano si possano incontrare anche giacimenti primari del Messiniano, dove questo abbia natura e spessore meno variabili da punto a punto, come può essere nelle pieghe subpadane meno prossime al margine appenninico.

Altrove, come in Piemonte, si trova il Messiniano a facies salmastra, ma senza alcuna manifestazione di carattere petrolifero. Invece nel versante adriatico dell'Appennino Marchigiano e Abruzzese, le marne che accompagnano i gessi del Miocene superiore sono spesso impregnate di idrocarburi con carattere di giacitura primaria. Le condizioni non sono molto favorevoli, ed è ancora incerto se da essi si possa avere speranza di utilizzazione industriale: ma conviene tentare ricerche, che finora sono appena all'inizio.

Assai più cospicue e vistose sono le impregnazioni di bitume, quasi certamente primarie, che accompagnano nei pressi di S. Angelo dei Lombardi (Avellino) la facies salmastra del Messiniano sabbioso-marnoso, e che rappresentano il residuo ossidato di un antico giacimento.

Questo fatto può alimentare la speranza di trovare un Messiniano fertile nella vasta zona che si deprime fra l'Appennino e le Murge, e di cui l'AGIP, accogliendo l'iniziativa dell'ing. Migliorini, ha iniziata la difficile esplorazione. Questa depressione, nota ormai nella letteratura geologica e tecnica come « Fossa Bradanica », ha il fondo nascosto prevalentemente da sedimenti pliocenici, con morfologia piuttosto mossa, ma nei terreni sottostanti può offrire alla ricerca petrolifera possibilità analoghe a quelle del sottosuolo Padano.

4. *Miocene medio e inferiore.* — Nell'Appennino settentrionale nessun termine del Miocene medio (non ostante alcune affermazioni in contrario) può essere indicato come roccia madre di idrocarburi.

Non già che manchino impregnazioni; ma queste sono in rapporto stretto con argille scagliose direttamente sottostanti, ovvero penetrate nel nucleo di pieghe compresse od anche fagliate.

Presso Retorbido, nel Vogherese, si osservano ad es. manifestazioni nella parte più bassa del Langhiano, sabbiosa o molassica, a diretto contatto con argille scagliose formanti il nucleo strizzato di una piega. Nell'anticlinale che da Salsomaggiore corre verso sud-est, costituendo la piega più esterna dell'Appennino, le venute gassose e liquide si allineano sul fianco fagliato che guarda la pianura: loro sede sono anche qui le molasse basali del Langhiano, a contatto con argille scagliose che penetrano come lame — non sappiamo ancora se per fenomeno di carattere diapirico, o (come sembra più probabile) in conseguenza di faglie inverse. Nella zona di Salsomaggiore sono petrolifere al contatto con le argille scagliose anche le molasse dell'Oligocene, difficili a coltivare perchè non riusciamo a individuarne le pieghe, nascoste dai terreni miocenici deformati solo da più recenti dislocazioni. Molti lati dei problemi relativi a questa plaga sono tuttora oscuri, e l'origine delle abbondanti acque salsoiodiche di Salsomaggiore non si può dire chiarita; ma per quanto riguarda gli idrocarburi, le relazioni con le argille scagliose sembrano troppo strette per cercare rocce madri al di fuori di esse.

A Montegibio il prof. Anelli ha dimostrato come il petrolio fuoriesca da una faglia inversa con argille scagliose nel nucleo dell'accavallamento. Presso Lagune di Sasso (Bologna) la base del Miocene medio è pure formata da arenarie sfatte che si presentano imbevute di olio al contatto con le sottoposte argille scagliose. Mi sembra molto probabile che abbiano origine analoga gli stillicidi di olio e le emanazioni di metano osservati presso Marradi nel potente complesso arenaceo del Miocene medio, la cui base è sconosciuta, ma verosimilmente consta essa pure di argille scagliose. Tanto più che, procedendo un po' più verso oriente, a sud di Sogliano al Rubicone incontriamo ancora impregnazioni nelle arenarie porose mioceniche contro cui premono le solite argille scagliose, strette in una piega fratturata e fagliata.

Condizioni diverse ci si presentano in quelle pieghe marginali o meglio esterne all'Appennino, che sono sepolte dalle alluvioni padane. Quivi il Miocene medio e inferiore è rappresentato da un potentissimo complesso argillo-marnoso-sabbioso, che ha una facies particolare non bene corrispondente ad alcun termine appenninico, e che è noto nella letteratura delle perforazioni col nome di « complesso M ». Le lenti sabbiose o molassiche che vi sono incluse

presentano sovente impregnazioni di idrocarburi gassosi o liquidi e di acque salsoiodiche; nella trivellazione profondissima che l'AGIP ha in corso a Montepelato, a pochi chilometri da Parma, tali acque raggiunsero pressioni di 200 ed anche 300 atmosfere, probabilmente dovute alla spinta di idrocarburi gassosi. La stessa trivellazione ha fatto incontrare sotto il « complesso M » argilloscisti e arenarie sterili del Paleogene, valorizzando anche alcuni reperti che erano rimasti di dubbia interpretazione, tratti dalla estremità della grande sonda dell'AGIP presso Fontevivo a quasi 2500 m. di profondità. Si legittima per tale via il convincimento che le impregnazioni incontrate in seno a quel complesso (il cui spessore è dell'ordine di 2000 m.) siano primarie e semplicemente passate dalle argille e marne alle lenti sabbiose incluse fra esse. È quindi anche su tale formazione che, dopo completati e rielaborati i dati gravimetrici, dovrà concentrarsi, nei punti meglio appropriati, la ricerca petrolifera nel sottosuolo padano.

Di natura ancora diversa è il Miocene medio nell'Appennino centrale.

Lasciando in disparte le Marche, dove le condizioni e l'origine delle manifestazioni petrolifere sono ancora oscure, la nostra attenzione si ferma in particolare sulla valle della Pescara e sulla Valle Latina.

In quest'ultima, i petroli densi di Ripi e di S. Giovanni Incarico imbevono arenarie e calcari inclusi nella serie marnoso-argillosa del Miocene medio. Benchè tale serie si debba presumere riposante su argille scagliose, che in qualche punto corrugamenti ed erosione hanno messe a giorno, tuttavia si può ragionevolmente ammettere che nelle marne e argille scure mioceniche siano rappresentate antiche fanghiglie sapropelitiche da considerare rocce madri. Conclusione importante, perchè circoscrive il campo delle ricerche alle pieghettature di questa serie, corrugata sotto la spinta delle masse calcaree dei Lepini avanzanti da sud-ovest in coltre di ricoprimento.

Nella bassa valle della Pescara il Miocene medio presenta le notissime sorgenti petrolifere di Tocco Casauria e le impregnazioni bituminose di Lettomanoppello. Notissime, ma non altrettanto chiarite nei riguardi dell'origine; a ogni modo, non sembra possibile ritenere i due fenomeni come geologicamente dissociati, e pare molto difficile ricercare l'origine di questi idrocarburi nei livelli asfaltiferi mesozoici. Tutto lascia credere che il bitume contenuto nei calcari elveziani a litotamni e briozoi della Pescara sia di impregnazione primaria, e che alla circolazione idrica attraverso le frat-

ture di quei calcari sia da porre l'origine delle sorgenti petrolifere. Le rocce madri farebbero parte, quindi, della serie mesomiocenica.

Non diverso è il nostro giudizio sulla genesi dei cosiddetti asfalti di Ragusa, calcari porosi impregnati di idrocarburi pesanti che si notano in vari punti del grande tavolato Ibleo. Attente osservazioni, compiute insieme al prof. G. Dal Piaz, ci hanno dato modo di notare fatti e circostanze che tenderebbero ad escludere l'ipotesi di una mineralizzazione per ascensum e che, assieme alla presenza di una ricchissima microfauna nei calcari asfaltiferi, ci fanno considerare tali impregnazioni come primarie, localizzatesi là dove le circostanze in cui si veniva formando l'accumulo delle fanghiglie e dei minutissimi gusci consentivano anche la preservazione della sostanza organica dal rapido disfacimento. Non occorre dire quali conseguenze di carattere applicativo discendano immediatamente da tali considerazioni.

5. *Paleogene non fliscioide.* — La massima parte degli idrocarburi contenuti in rocce permeabili del Paleogene non facenti parte dei complessi fliscioidi, sono impregnazioni secondarie formatesi per migrazione di sostanze prima contenute nei complessi medesimi.

Si tratta, per lo più, di impregnazione di rocce a contatto con argille scagliose: tali, ad es., le già ricordate molasse oligoceniche di Salsomaggiore, ed altre in condizioni analoghe nei dintorni di Scandiano; tali i blocchi di calcari fratturati e di arenarie porose dell'Oligocene e dell'Eocene (e talora anche più antichi) avvolti dalle argille scagliose in tante parti dell'Appennino settentrionale. A tale origine sono pure da ricondurre, a nostro parere, anche le impregnazioni che si riscontrano in seno alla zolla calcareo-marnosa di Casale Monferrato, per quanto sia ancora mal nota la tettonica di questo singolare complesso. Di origine analoga, per quanto incerta, sono forse anche i bitumi contenuti presso la stazione ferroviaria di Rocchetta S. Antonio (alto Ofanto) in un calcare arenaceo attribuito all'Oligocene e situato in una zona tettonicamente assai disturbata.

Tutt'altra natura hanno le piccole vene bituminose che vengono segnalate in diverse parti dell'Istria nelle fratture di strati calcarei dell'Eocene basale, sovrastanti al livello liburnico. Si tratta di fenomeni trascurabili dal punto di vista pratico, e che sono certamente in relazione con i processi di trasformazione dei depositi salmastri, ricchi di vegetali e di altri residui organici, che contrassegnano il passaggio dal Cretaceo all'Eocene ed il cui termine utile è dato dai banchi di carbone dell'Arsa e di altre località istriane.

6. *Argille scagliose e altre formazioni fliscioidi.* — Principali rocce madri di idrocarburi in Italia sono da ritenersi le argille scagliose e le analoghe formazioni a facies di flysch. A questa convinzione, espressa tre anni fa dal prof. G. Dal Piaz, sono oggi venuto io pure, ma dopo avere lungamente esitato per più ragioni. Non vedevo in tali rocce caratteri abbastanza evidenti di originari depositi sapropelitici; trovavo una difficoltà nel mancato riscontro di idrocarburi pesanti in corrispondenza di tali terreni; mi pareva troppo impermeabile il complesso della potente formazione argillo-scagliosa nelle varie parti dell'Appennino. Ero piuttosto incline ad accogliere l'ipotesi di lavoro del prof. Anelli, che le fratture attraverso cui si fecero strada le penetrazioni di argille scagliose avessero aperto la strada a idrocarburi raccolti in complessi sottostanti alle argille o attraversati da queste. Ma con il progredire delle perforazioni da un lato e delle osservazioni in superficie dall'altro, mi sono venuto persuadendo che proprio nelle argille scagliose, e in genere nei complessi fliscioidi dell'Appennino, è da porre la sede primaria delle impregnazioni ad essi legate.

Non sono soltanto i fenomeni tante volte ricordati dell'accumulo di idrocarburi nelle rocce porose o fratturate incluse in blocchi nelle argille scagliose, o comunque venute a diretto ed intimo contatto con esse. Ma sono anche le osservazioni geologiche e le deduzioni geofisiche che pongono fuori dubbio, almeno allo stato attuale della scienza, la giacitura delle argille scagliose in coltri di ricoprimento su terreni sterili lungo tutto quel versante padano dell'Appennino settentrionale, in cui esse presentano manifestazioni di idrocarburi liquidi e gassosi; sono gli stretti legami fra questi e quelli, dimostrati così dalle analisi chimiche recenti come dall'abbinamento delle manifestazioni di gas e di petrolio in superficie (ad es. nel Porrettano) e nelle perforazioni (tipico il sondaggio profondo di Pietramala, che oltre al metano trovò anche un livello con oli leggeri); sono le strette affinità, per non dire affinità sostanziali, fra queste manifestazioni e quelle emananti dai complessi fliscioidi dell'Appennino Campano e Lucano, da Casalbore e dalla valle d'Ansanto fino a Tramutola ed oltre, e che si ripresentano nella Sicilia settentrionale; sono infine i risultati delle perforazioni che portano a escludere altre provenienze, anche dove queste erano state prospettate come probabili: ben dimostrative, al riguardo, le sonde di Tramutola, che hanno localizzato gas e petroli nel flysch eocenico, eliminando come sterili i sottoposti scisti ladinici e le altre formazioni triassiche.

Alla presunta impermeabilità dei complessi fliscioidi, si oppone la circostanza che le manifestazioni si osservano là dove questi non sono uniti e continui, ma dove le dislocazioni e le spinte orogeniche li hanno rotti e sconvolti, aprendo innumerevoli meati attraverso le fratture, che nelle argille, di regola, non si rinsaldano. Lo dimostrano le sfuggite di gas avvertibili in ogni perforazione che attraversi complessi fliscioidi molto caotici; lo dimostrano le emanazioni di metano dell'Appennino settentrionale, che da Pietramala alla Porretta ed a Barigazzo si allineano, per quanto mi risulta, lungo una striscia dove le argille scagliose hanno una caoticità moderata, così da mostrare qualche pacchetto di strati conservanti ancora i rapporti originari, mentre la persistenza secolare delle emanazioni testimonia il persistere di tutta una estesa rete di meati.

La varia ricchezza delle manifestazioni corrisponde verosimilmente anche ad una varia distribuzione primitiva della materia organica accumulata e conservata nei sedimenti originari e successivamente trasformata. Argille scagliose e complessi fliscioidi in genere possono avere tenore assai vario di idrocarburi nelle diverse regioni e nei diversi livelli stratigrafici, che oscillano nelle varie parti d'Italia dal Cretaceo medio all'Oligocene.

Ammesso il principio, abbiamo un'ipotesi di lavoro che dà alle ricerche determinate direttive. Poichè la caoticità dei complessi fliscioidi (da non confondersi con quella della loro parte superficiale) dipende dalla intensità e dal carattere delle forze tettoniche, un compito di prima importanza è riservato alla geologia strutturale. Dovrà il geologo, con l'aiuto anche del geofisico, ricercare e delineare non soltanto i particolari delle strutture locali (pieghe, faglie, ricoprimenti embriciati ecc.), in cui terreni fliscioidi e rocce atte ad essere impregnate vengono fra loro in stretto contatto, ma anche le grandi linee tettoniche dell'Appennino. Se il principio di una struttura a coltri si può dire oggi acquisito alla scienza per almeno una parte dell'Appennino settentrionale, le linee di questa struttura sono lungi dall'essere definite; e per l'Appennino meridionale siamo in una fase ancora più arretrata, poichè la geologia ufficiale anche più autorevole vi nega in blocco la presenza di estesi ricoprimenti, che almeno in alcuni punti sembra invece palese. Per limitarmi ad un solo esempio, il professor G. Dal Piaz ed io riteniamo che sia questo il motivo tettonico fondamentale nella zona di S. Angelo dei Lombardi, e che ad esso non siano estranee le manifestazioni petrolifere note da tempo nei terreni fliscioidi di questa plaga; e se tale giudizio risponde al

vero, il ricoprimento non può certo limitarsi ad un'area ristretta. Impressione analoga abbiamo ricevuto dai dintorni di Tramutola nella Lucania meridionale, in relazione al flysch eocenico produttivo ed ai rapporti di esso con le formazioni mesozoiche della regione; tanto più che altrove nell'Appennino Lucano (come presso Vietri di Potenza) si osservano esempi chiarissimi di ricoprimenti.

Nella Sicilia settentrionale la struttura a coltri è, in molti punti, troppo evidente per poter venire negata; ma sono tuttora da precisare le linee generali di essa e la parte che vi prendono i terreni fliscioidi; i quali nell'isola comprendono talvolta, come il prof. Fabiani ha indicato, anche termini anteriori al Cretaceo.

Siamo invece interamente all'oscuro sulla struttura che può presentare un eventuale substrato fliscioide nelle pieghe o scaglie che si spera di rintracciare sotto i terreni recenti della cosiddetta Fossa Bradanica.

7. *Mesozoico non fliscioide.* — In parecchi livelli mesozoici si riscontrano calcari bituminosi, che nell'Appennino centrale e meridionale sono talvolta così ricchi da assurgere a vera importanza industriale. Per la maggior parte, tali impregnazioni sembrano di origine primaria; ma un vero studio geologico di esse è ancora da fare, e, condotto con metodo comparativo, può forse riservare qualche sorpresa così dal lato scientifico come da quello applicativo. È negli Abruzzi che il problema offre maggiore interesse, ed è a questo fine che l'AGIP ha in corso non solo studi, ma anche un sondaggio non lungi da Popoli, nella valle della Pescara.

8. *Conclusioni.* — Possiamo ricapitolare come segue, in brevi parole, le conclusioni pratiche principali di questa rapida rassegna.

1) La ricerca delle rocce madri di idrocarburi in Italia ci ha finora condotti a ritenere come più importanti:

— nel sottosuolo padano, il potente complesso argillo-sabbioso riferibile al Miocene medio e inferiore,

— nell'Appennino, le argille scagliose e le analoghe formazioni fliscioidi.

2) Nel sottosuolo Padano, dopo identificate geofisicamente le strutture positive più favorevoli, le sonde debbono pertanto esplorarvi il suddetto complesso miocenico con i suoi interstrati porosi, nonchè le soprastanti formazioni clastiche messiniane atte ad essere impregnate.

3) Nell'Appennino, occorre anzi tutto intensificare gli studi geologici diretti a mettere in chiaro le grandi linee strutturali al

lume dei concetti moderni. La scienza pura è chiamata qui ad un compito di primissima importanza nei riguardi applicativi. Deve essere poi esaminata con speciale cura la posizione tettonica delle argille scagliose e degli altri complessi fliscioidi, e rilevati i particolari minuti degli elementi strutturali che li interessano. Compito delle sonde sarà l'esplorazione delle strutture più favorevoli, degli orizzonti permeabili inglobati nei detti complessi e di quelli venuti con essi in intimo diretto contatto. È da tener presente che non sono affatto escluse strutture a scaglie che facilitino l'accumulo locale di idrocarburi o diano luogo a sovrapposizioni ripetute di orizzonti da esplorare.

4) Importanza locale assumono, per le loro impregnazioni primarie, i terreni mesomiocenici della valle della Pescara e della Valle Latina.

5) Se, come vogliamo ragionevolmente confidare, le ricerche iniziate nella Fossa Bradanica avranno esito positivo, e dà prevedere che gli idrocarburi saranno in relazione con terreni messiniani, o più facilmente con terreni fliscioidi.

6) Noi riteniamo che, mentre nuovi giacimenti modesti si possono trovare in molte parti dell'Appennino e forse anche in Sicilia, le probabilità di scoprire giacimenti petroliferi veramente notevoli nel nostro paese si localizzino nel sottosuolo Padano e forse in quello della Fossa Bradanica.

7) Le emanazioni di metano su cui l'industria può fare affidamento, sono tutte in Italia geneticamente connesse con i petroli. Idrocarburi gassosi e idrocarburi liquidi, risultati di medesimi processi e legati ai medesimi terreni, sono così intimamente associati, che la ricerca degli uni e la ricerca degli altri si presentano come due aspetti di un medesimo problema e non possono esser fatte separatamente senza sperpero di mezzi e di energie.

Ho cercato di essere semplice, schematico nella mia esposizione. Ma non vorrei che questa semplificazione formale potesse venire erroneamente interpretata. Il problema della ricerca petrolifera in Italia è fra i più ardui che si possano porre a geologi e geofisici. Ha una estrema varietà di aspetti, e a misura che la ricerca procede gli aspetti si rivelano più complicati e mettono a più dura prova i ricercatori. Ma si continua il lavoro con tenacia e con fede.

FEDERICO SACCO
PROF. EMERITO DI GEOLOGIA NEL R. POLITECNICO DI TORINO

Sull'approfondamento delle trivellazioni petroleifere.

RIASSUNTO. — *L'A., premessi alcuni cenni preliminari, appoggia l'idea delle trivellazioni profonde nelle formazioni petroleifere (le cosiddette «Argille scagliose») dell'Appennino; però con certe riserve connesse a dati litologici, tettonici, termici e naturalmente economici.*

Sono ormai lontani i tempi in cui, in una prima fase di ricerche del petrolio, si facevano semplicemente pozzi profondi pochi metri per estrarne qualche litro, specialmente per limitato uso terapeutico.

In una seconda fase si andarono eseguendo, nei più diversi terreni geologici ed in quasi tutte le parti della Terra, trivellazioni di poche centinaia di metri di profondità, incontrando così talora, qua e là, specialmente nei depositi calcareo-arenacei più o meno incoerenti, od almeno non molto compatti, zone più o meno petrolifere; appunto perchè la natura litologica di tali depositi, assorbenti e ritenenti i preziosi idrocarburi, ne avevano permesso la captazione e la ritenzione; ciò quasi indipendentemente dall'età dei terreni e dall'origine del petrolio.

Intanto col progredire degli studi geologici e tettonici, nonchè della tecnica, le trivellazioni si andarono approfondendo sino a mille e più metri, constatandosi che, se continuavano ad incontrarsi, a tali maggiori profondità, le buone condizioni litologiche sovraccennate, anche le zone profonde erano sovente ancora petroleifere, talora persino con maggiore efficienza e salienza che nelle zone superiori.

Per cui in questi ultimi anni si tende a spingere le trivellazioni per queste ricerche anche a ben maggiori profondità; ciò specialmente nel Nord America (come nel Messico, nel Texas, nella California, ecc.), nonchè in Persia, in Russia, ecc. continuandosi ad incontrare zone petrolifere anche oltre 2000 o 3000 metri. Ricordo come esempio in proposito che la « Continental Oil Co. » è giunta con una trivellazione, a Wasco in California, sino alla profondità di 5000 metri circa.

Però, quantunque io sia inclinato (come già espressi più volte in quest'ultimo ventennio in adunanze ed in pubblicazioni speciali) alla ricerca degli Idrocarburi anche a grande profondità, tanto più che li ritengo in gran parte di origine inorganica, tellurica e quindi profonda (1), tuttavia parmi opportuno fare al riguardo alcune considerazioni e riserve.

Infatti, se si tratta di formazioni petroleifere che, in certe regioni, si continuano in basso con una certa uniformità litologica e stratigrafica, conviene generalmente di spingervisi anche a grandi profondità per attraversare tutta la serie petroleifera e riconoscere così, approssimativamente, quello che indicherei come «patrimonio petroleifero» complessivo di tale serie sedimentaria in quelle date regioni; salvo, naturalmente, ad utilizzare o no, subito o più tardi, le zone petroleifere più redditizie ed economicamente convenienti per costo di trivellazione, quantità di produzione, ecc.

È questo un caso abbastanza frequente e che, per l'Italia, si verifica per la nota formazione delle cosiddette «Argille scagliose» dell'Appennino, che funzionano da «roccie-madri» essendo più o meno impregnate di Idrocarburi liquidi e gassosi, e per le quali, da molti anni, insisto affinchè si faccia almeno una trivellazione profondissima (in una regione a ciò opportuna, per esempio, in una regione marginale dell'Appennino emiliano, dove esse spesso affiorano) allo scopo di attraversarle completamente e conoscere in tal modo: 1) quale ne sia lo spessore; 2) se la serie è tutta più o meno impregnata di Idrocarburi; 3) se ne è più ricca in alto od in basso; 4) quali terreni vi stanno al di sotto; 5) se questi terreni sottostanti sono anch'essi petroleiferi o no (come dubito (2)), ecc. Insomma per avere un'idea, almeno approssimativa, del patrimonio idrocarburico, ricco o povero che sia, di questa tanto estesa e potente formazione geologica italiana.

Naturalmente quando, attraversata tutta una formazione a tipo più o meno petroleifero, si giunge in profondità a terreni litologicamente diversi (tanto più se anche tettonicamente differenti, in modo da indicare verificarvisi un *hyatus* più o meno forte) e privi di Idrocarburi, non conviene generalmente di approfondire

---

(1) F. Sacco, *Considerazioni sull'origine del Petrolio.* «Atti R. Accad. Sc. di Torino», Vol. 72, 1937.

Id., *Sull'origine inorganica del Petrolio.* «Rivista italiana del Petrolio», 1937.

(2) Probabilmente debbono essere, generalmente, terreni del Mesozoico medio-inferiore di tipo normale, non petroleiferi, ammantanti con spessore più o meno grande, i terreni cristallini.

molto ulteriormente la trivellazione, la quale proseguirebbe troppo nell'incerto, salvo che si abbiano indizi promettenti.

Quanto al problema generale dell'approfondamento delle trivellazioni nelle ricerche petroleifere, io vi sono bensì propenso, anche perchè, come sovraccennato, inclino all'idea dell'origine prevalentemente endogena, e quindi profonda, degli Idrocarburi (salienti dal basso ed arrestantisi nei terreni assorbenti e ritenenti). Tuttavia penso che, pur essendo spesso consigliabile qualche saggio profondissimo in ogni regione che sembri o sia fruttifera nella serie superiore, non debbasi però, in generale, neppur esagerare per i seguenti motivi.

È noto che le acque sotterranee, che hanno qualche analogia colle zone petroleifere, generalmente si impoveriscono verso il basso, e quindi potrebbe supporsi qualcosa d'analogo nelle zone petroleifere; ma deve considerarsi che, mentre le acque sotterranee sono di origine esterna (salvo che si ammetta la teoria, che parmi poco accettabile, delle cosiddette « acque giovanili ») e tendono per gravità, ma con sempre maggior difficoltà, a discendere verso il basso, gli idrocarburi invece (che penso siano specialmente di origine interna) tendono per la loro leggerezza ad ascendere, in modo da accumularsi più verso l'alto (nelle anticlinali e nei terreni porosi in genere), che non nelle grandi profondità.

In ambi i casi i liquidi sotterranei (acque o petroli) incontrano a tali grandi profondità sempre minor possibilità di trovarsi in notevole quantità; ciò, sia per la sempre maggior compressione dei terreni profondi che ne vengono quindi, direi, spremuti, sia perchè in tali maggiori profondità i terreni tendono sempre più, non solo a diventare più compatti, quindi impermeabili, ma anche a metamorfosarsi passando allo stato cristallino, in modo da espellere gli idrocarburi che essi potessero prima contenere, oppure a trasformarli in maniera tale da togliere loro le qualità utilitarie che si desiderano.

Quindi, salvo casi speciali, è logico che le trivellazioni non debbono utilmente spingersi oltre la profondità di qualche migliaio di metri; tanto più che condizioni termiche, tecniche ed economiche convergono per far diventare quasi proibitive le trivellazioni oltre un certo limite, che naturalmente varia secondo le regioni, il grado geotermico, la natura dei terreni, la tettonica e tante altre circostanze che è qui inutile elencare.

GIAMBATTISTA DAL PIAZ

DIRETTORE DELL'ISTITUTO DI GEOLOGIA DELLA R. UNIVERSITÀ DI TORINO

Considerazioni geologiche sui giacimenti antracitici carboniferi delle Alpi italiane.

(Con tre figure).

RIASSUNTO. — *Illustrate le principali caratteristiche geologiche dei giacimenti antracitici compresi nei terreni carboniferi delle Alpi Italiane, l'A. afferma l'opportunità, dal punto di vista pratico, che i giacimenti stessi vengano studiati alla luce delle più moderne concezioni tettoniche.*

Nei terreni carboniferi delle Alpi Italiane i giacimenti di antracite suscettibili di uno sfruttamento industriale si trovano in due regioni ben distinte e molto lontane fra di loro. Ad oriente nella Catena carnica e ad occidente in talune zone delle Alpi Piemontesi.

Nella Carnia si hanno modesti banchi o meglio lenti di antracite nel Carbonifero superiore a nord di Pontebba, fra il Casòn di Lanza e la casera dal For (M. Corona). Lasciando per doveroso riguardo al prof. Gortani qui presente l'illustrazione di questi depositi, che egli conosce molto bene per averne fatto oggetto di suoi studî, passiamo senza altro a trattare dei giacimenti piemontesi.

Le formazioni carbonifere delle Alpi Occidentali italiane e le connesse intercalazioni di antracite sono state illustrate con grande dettaglio in una fondamentale pubblicazione geologico-mineraria dovuta alla benintesa cooperazione di alcuni valenti studiosi, quali De Castro, Franchi, Mattirolo, Oreglia, Pellati, Peola, Stella e Zaccagna. Potrebbe quindi sembrare superfluo il ritornare su di un argomento che è stato trattato tanto magistralmente. Noi riteniamo però che qualsiasi nuovo studio in

proposito, purchè compiuto con rigore di metodo e modernità di vedute, sia giustificato dal fatto che l'opera summenzionata è uscita ben 36 anni or sono. A quell'epoca non erano state ancora formulate le grandi sintesi tettoniche sulle Alpi Occidentali (1905), che oggi fanno testo, e le necessità nazionali in fatto di combustibili fossili erano allora ben diverse da quelle dei tempi attuali, nei quali l'Italia è tutta protesa nello sforzo di dare rapida e completa attuazione al grandioso piano autarchico voluto dal Duce. È bensì vero che dopo la pubblicazione della suddetta monografia sono usciti sullo stesso argomento diversi lavori, taluni di carattere prevalentemente scientifico, altri invece di carattere essenzialmente applicativo; basterà ricordare in proposito gli studi di Maddalena (1932), Stella (1933), della Soc. An. «Cogne» (Elter, 1933), di Bibolini e Giordana (1934), Dessau (1936), ecc. Questi lavori sono indubbiamente molto ben condotti e interessanti, cosicchè costituiscono nel loro insieme un nuovo, validissimo contributo alla conoscenza dei giacimenti antracitici carboniferi delle nostre Alpi. Purtroppo però manca ancora in Italia lo studio che ci fornisca fra l'altro un aggiornamento preciso e completo dell'importante questione dal punto di vista delle moderne concezioni geotettoniche, come quello compiuto alcuni anni or sono da Christ per il Carbonifero produttivo della Svizzera. Le considerazioni che andremo ora esponendo dovrebbero rappresentare un primo, modesto contributo in tal senso, più che altro a carattere teorico generale. È sperabile ch'esse siano presto seguite da rigorose e dettagliate ricerche sul terreno, a diretta finalità pratica, che, senza creare fallaci illusioni, contribuiscano a stabilire nel modo più esatto l'entità e le possibilità di sfruttamento dei nostri giacimenti di antracite.

I terreni carboniferi del Piemonte sono limitati alla cosidetta « zona pennidica », che forma la massima parte delle Alpi Occidentali, all'interno dei grandi massicci cristallini ercinici dell'Argentera, del Pelvoux-Belledonne, del Monte Bianco-Aiguilles Rouges, dell'Aar Gottardo e della loro copertura sedimentaria a facies « elvetica ». Nella zona pennidica piemontese, estesa dalle Alpi Lepontine alle Pennine, dalle Graie alle Cozie e alle Marittime, il Carbonifero è rappresentato in diverse unità tettoniche, quali i ricoprimenti Gr. Paradiso, Dora-Maira e Gr. S. Bernardo. Ma mentre nel primo elemento tettonico il Carbonifero possiede uno sviluppo limitato e locale, nel ricoprimento Dora-Maira assume un'importanza notevolmente maggiore, per rag-

giungere infine una grande estensione e talora anche una potenza molto considerevole nel ricoprimento Gr. S. Bernardo. Diciamo subito che la formazione antracitica utile si trova soltanto in quest'ultima unità, in corrispondenza alla grande zona carbonifera detta « assiale », situata nella parte anteriore del ricoprimento Gr. S. Bernardo. Detta zona si estende da Sion, nella Valle del Rodano, fin presso Savona. Essa entra in Italia dalla Svizzera a ovest del Gran San Bernardo, dal Col Fenêtre, attraversa sotto forma di una larga fascia l'alta valle d'Aosta e passa quindi in Francia nel tratto compreso all'incirca fra il Colle del Piccolo San Bernardo e il M. Rutor. In questo settore si trovano i ben noti giacimenti antracitiferi di La Thuile. Sul territorio francese la zona carbonifera si allarga considerevolmente, estendendosi dai monti della Tarantasia e della Moriana alla regione a sud di Briançon. In Italia, essa riappare dapprima per breve tratto in Valle Stretta, presso Bardonecchia, e poi, con estensione molto maggiore, nelle Alpi Marittime fino a raggiungere, nella Liguria occidentale, i paraggi di Savona. In questo tratto si trovano gli affioramenti di antracite e di grafite di Calizzano, Osiglia, Pallare e Mallare, nonchè i banchi carboniosi con piante fossili dell'alta valle del Tanaro.

Nelle parti interne-posteriori del ricoprimento Gran S. Bernardo, in Val di Cogne, in Valsavaranche e in Val di Rhême, come pure nelle vicine parti dorsali-anteriori del ricoprimento Gran Paradiso, il Carbonifero è rappresentato soltanto da scisti cristallini diversi, spesso a pigmento grafitico ma di solito senza intercalazioni antracitose. Caratteri analoghi offre il Carbonifero del ricoprimento Dora-Val Maira, rappresentato dalla ben nota « formazione grafitica delle Alpi Cozie », che assume grande sviluppo nelle valli del Chisone e dell'affluente Germanasca, e nella regione attorno al Monte Bracco. Per quanto non sia del tutto priva di lenti di antracite, quest'ultima formazione deriva il suo interesse pratico dagli importanti giacimenti di grafite, che hanno dato vita ad una fiorente industria mineraria.

I resti di piante fossili scoperti in diverse località italiane e francesi (Piccolo S. Bernardo, Tarantasia, Moriana, Delfinato, Valle Stretta nell'alta Valle di Susa, Viozene nell'alta valle del Tanaro, Pietratagliata nella Valle della Bormida di Mallare ecc.) indicano la presenza del Westfaliano medio e superiore. È quindi probabile che i terreni compresi fra il Westfaliano superiore fossilifero e il Permo-Eotrias rappresentino lo Stefaniano, vale a dire il Carbonifero superiore. Il deposito a piante presso il Colle

del Piccolo S. Bernardo e il giacimento antracitico di La Thuile apparterrebbero, secondo gli studi più recenti, al Westfaliano medio. Nei terreni carboniferi del ricoprimento Gran S. Bernardo, come del resto in tutti quelli degli altri elementi tettonici delle Alpi Occidentali, non vennero mai scoperti fossili marini e questa circostanza, connessa alla frequente presenza di avanzi di piante terrestri e a vari altri fatti che qui sarebbe troppo lungo ricordare, ne conferma l'originaria natura continentale, prevalentemente alluviale-limnica.

I terreni carboniferi del ricoprimento Gran San Bernardo sono rappresentati da puddinghe e anageniti più o meno laminate, associate a gneiss e micascisti psammitici, da scisti arenacei carboniosi, antracitici, talora grafitici, passanti a micascisti e filladi carboniose con lenti di antracite ecc. Nelle Alpi Cozie, il Carbonifero del ricoprimento Dora-Maira è rappresentato da conglomerati con cemento gneissico, da gneiss psammitici e micascisti a ciottoli di quarzo, con pigmento grafitico, da micascisti, scisti grafitici e grafitoscisti con banchi e lenti di grafite e talora di antracite (Clot de Beaulard); nonchè da micascisti a sismondina, con granati e grafite, da gneiss minuti e micascisti ordinarî contenenti qua e là banchi di quarzite.

Dal punto di vista genetico, la formazione carbonifera pennidica risulta costituita da rocce di evidente origine clastica, come conglomerati, breccie, arenarie e argilloscisti, che, in conseguenza dell'intenso rimaneggiamento tettonico-metamorfico subìto nel corso dell'orogenesi alpina, vennero laminate e per la massima parte ricristallizzate, in modo da assumere l'attuale facies scistoso-cristallina di epizona propria alla gran maggioranza di esse. Questa facies secondaria, di natura eminentemente tettonica, ha impartito ai varî materiali litici il loro spiccato carattere di *tettoniti*.

Le rocce detritiche originarie degli attuali terreni carboniferi derivavano a loro volta da quei depositi clastici continentali, a carattere psefitico, psammitico e pelitico, formatisi in condizioni subaeree e soprattutto alluviali-limniche, che colmarono le depressioni del rilievo ercinico quand'era ormai profondamente eroso e ridotto a un penepiano.

La formazione carbonifera poggia in generale sopra scisti cristallini antichissimi, verosimilmente prepaleozoici, dai quali è separata mediante una gigantesca lacuna stratigrafica; questi scisti possono essere designati con la denominazione complessiva di « Cristallino antico ». Localmente i terreni carboniferi

ricoprono invece gli ortogneiss tipo Gran Paradiso, Dora-Maira ecc., che sono derivati dal metamorfismo di rocce intrusive acide (come graniti, granodioriti ecc.), appartenenti al ciclo magmatico ercinico. Anche in tal caso un'importante lacuna stratigrafica separa il Carbonifero dalle roccie del substrato. Solo gli gneiss dioritici della Val Chisone e del Gran Nomenon (Val di Cogne-Valsavaranche) sono intrusi nella formazione carbonifera, essendo più recenti di questa e precisamente di età permiana.

Le rocce del Cristallino antico sono state ripiegate dall'orogenesi ercinica e sopra di esse si sono quindi depositati in discordanza i sedimenti del Carbonifero, del Permiano e del Trias. Anche se gli originarî angoli di stratificazione fra i terreni mesozoici e permo-carboniferi da un lato e gli scisti del Cristallino antico dall'altro non sono più visibili, a causa dell'intenso rimaneggiamento tettonico-metamorfico determinato dall'orogenesi alpina, pure la sovrapposizione discordante della serie più recente su quella più antica risulta con indiscutibile evidenza da numerosi fatti particolari e generali, tanto che al giorno d'oggi si è giunti ad ammettere l'esistenza della grande discordanza ercinica nell'intera zona pennidica. In certi punti (alta Valle d'Aosta, Valsavaranche ecc.) il Trias viene a contatto diretto con il Carbonifero, senza interposizione di terreni sicuramente permiani; se l'assenza dei termini intermedi non è dovuta ad una soppressione meccanica, saremmo in presenza di una notevole lacuna stratigrafica, che, almeno nell'alta Valle d'Aosta, comprenderebbe il Carbonifero superiore, il Permiano e localmente una parte del Trias (Westfaliano medio fossilifero a contatto ora con le quarziti del Werfen ed ora con le dolomie, le carniole e i gessi del Mesotrias nella zona del Piccolo San Bernardo). Il Trias si sarebbe quindi depositato con più o meno marcata trasgressione e irregolarmente sul Carbonifero. Se l'indiscutibile lacuna fosse realmente di natura primaria, potrebbe corrispondere a dei movimenti tettonici tardoercinici, sul genere di quelli riconosciuti nel vicino massiccio dell'Aiguilles Rouges. In tal caso i terreni carboniferi (ed eventualmente, ove esistono, anche quelli permiani?) sarebbero implicati in sinclinali erciniche, al pari di quelli incuneati nei massicci cristallini elvetici. I fatti sopraccennati e la caratteristica distribuzione del Carbonifero pennidico, generalmente ristretta a singole zone isolate e più o meno allungate, darebbe ragione, secondo certi autori, a una simile ipotesi, la quale però attende ancora una sicura riprova basata sull'esame obbiettivo dei fatti prima di poter essere accolta nel novero delle concezioni attendibili.

I banchi e le lenti di carbon fossile sono di solito intercalati nelle rocce del cosidetto gruppo grafitoidico o antracitifero, rappresentate da gneiss e micascisti psammitici e da scisti filladici, pelitici. Il pigmento carbonioso o grafitico, quasi sempre presente e spesso abbondante nelle filladi e nei micascisti di questo gruppo, impartisce alle rocce che lo contengono una tinta grigioscura, talora addirittura nerastra. La grande massa degli scisti antracitiferi dell'alta Valle d'Aosta rappresenta indiscutibilmente la parte più alta del Carbonifero della regione, come è dimostrato dai suoi rapporti con il Trias; la parte più bassa della formazione carbonifera è qui costituita da rocce di natura prevalentemente conglomeratica, come puddinghe e anageniti più o meno laminate, a cui si associano gneiss e micascisti psammitici, talora grafitoidici e con tracce di antracite.

I giacimenti di antracite sembrano avere un'origine essenzialmente autoctona, senza che, affermando ciò, si voglia escludere nella loro genesi l'azione di trasporto di avanzi vegetali esercitata dalle acque correnti. I depositi dei resti vegetali, che hanno dato origine ai giacimenti di antracite, si sarebbero quindi formati in stagni, paludi e laghi, secondo un processo che si svolge ancora sotto i nostri occhi in certe zone particolarmente umide delle regioni tropicali.

Per i giacimenti di grafite è lecito arguire un'origine analoga a quella prospettata nel caso dell'antracite. Infatti la zona grafitica delle Alpi Cozie, anche se finora non ha fornito nessun avanzo fossile, si dimostra, per i suoi caratteri petrografici e per i suoi rapporti stratigrafici, coeva della grande formazione carbonifera assiale del ricoprimento Gran S. Bernardo. Il motivo per cui nelle Alpi Cozie troviamo la grafite in luogo dell'antracite è evidentemente dovuto alle stesse cause che hanno trasformato gli originarî sedimenti clastici carboniferi negli attuali scisti cristallini. La grafite, nel nostro caso, corrisponde quindi a dell'originario carbon fossile che ha subito un metamorfismo di dislocazione più intenso di quello che ha colpito l'antracite del ricoprimento Gran S. Bernardo. A riprova di ciò sta il fatto che i terreni carboniferi delle parti anteriori ed esterne di quest'ultima unità tettonica sono sempre meno cristallini di quelli delle Alpi Cozie, fra i quali si rinvengono ancora delle intercalazioni antracitiche relitte, che hanno potuto sfuggire alla trasformazione in grafite operata dal metamorfismo. Tali differenze nel grado di intensità del metamorfismo non possono essere dovute che alla diversa posizione tettonica occupata rispettivamente dalla formazione carbonifera

« assiale » del ricoprimento Gran S. Bernardo e dalla zona grafitica delle Alpi Cozie nel corso dell'orogenesi alpina. Nel primo caso ci troviamo nelle parti anteriori, rispettivamente esterne e frontali, del ricoprimento Gran S. Bernardo, le cui formazioni permo-carbonifere mesozoiche e terziarie presentano un metamorfismo debole e decrescente da nord a sud, che addirittura si annulla in talune regioni delle Alpi Marittime e del versante francese della catena. Nel secondo caso invece ci troviamo in complesse e spesso lunghe sinclinali pizzicate fra le enormi anticlinali coricate che costituiscono il ricoprimento Dora-Maira, al quale molto probabilmente sovrastavano altri elementi tettonici ora distrutti dall'erosione. È evidente che il carico tettonico, e quindi la possibilità di ricristallizzazioni metamorfiche, fosse alquanto maggiore in corrispondenza alla zona grafitica delle Cozie che non nelle parti anteriori-esterne o frontali del ricoprimento Gran S. Bernardo. Ecco dunque spiegato in modo semplice e naturale le sensibili differenze nell'attuale facies petrografica fra le roccie della zona carbonifera assiale e quelle della zona grafitica, nonchè la sostituzione dell'antracite con la grafite nelle Alpi Cozie. In tal modo vien rimosso l'ultimo ostacolo che si opponeva al definitivo riconoscimento del completo parallelismo stratigrafico-cronologico esistente fra le due formazioni; parallelismo che era stato intuito e anche affermato da varî Autori, ma non senza una certa riserva giustificata dalle differenze prima accennate, le quali non si potevano assolutamente spiegare con le vecchie concezioni dell'autoctonia della zona pennidica.

I giacimenti di antracite del ricoprimento Gran S. Bernardo presentano delle forme estremamente variabili lungo tutta la grande zona carbonifera, dalla valle del Rodano al Mare Ligure. Il combustibile si trova per lo più in lenti sinuose, spesso ripiegate su sè stesse, in tasche o sacche (*poches*) tutte contorte e talora perfino in masse cilindriformi irregolarissime. I primitivi banchi di antracite, già in origine discontinui e di spessore variabile, sono ridotti a una successione di improvvisi ingrossamenti lenticolari o a sacca, separati fra loro da strozzature e stiramenti che spesso arrivano fino alla totale soppressione meccanica del combustibile. Per questo motivo non esistono veri e proprî banchi di carbone fossile, ma solo allineamenti di masse irregolari, che permettono fino a un certo punto di ricostruire il primitivo andamento delle intercalazioni antracitiche. Talvolta fenomeni di pieghe-faglie, di scagliamenti e di scorrimenti paralleli alla scistosità delle rocce incassanti complicano ancor più la già complessa

struttura di questi giacimenti, rendendo allora molto difficili e aleatori i lavori di ricerca.

Le forme dianzi accennate dei giacimenti antracitici sono in parte dovute alla natura irregolare del deposito primitivo di vegetali, il quale doveva essere già originariamente suddiviso in numerosi lembi, molto variabili per estensione e potenza non solo fra loro ma anche nell'ambito di ciascuno di essi. Senza dubbio però l'estrema irregolarità di questi giacimenti è per la massima parte dovuta alle azioni meccaniche e ai movimenti tettonici subìti dalle formazioni carbonifere pennidiche durante l'orogenesi alpina. Il fatto non può sorprendere, se si pensi all'enorme durata e alla straordinaria intensità del corrugamento alpino, che, proprio nella zona del Gran S. Bernardo, si è manifestato dall'inizio del Giurese fino ai giorni nostri [1], con una numerosa successione di fasi orogenetiche, alcune delle quali sembrano essersi svolte, almeno in certi settori, secondo direttrici tettoniche notevolmente diverse fra di loro. Così, per esempio, tracce di ripiegamenti successivi e discordanti sono state osservate negli scisti carboniferi presso La Thuile, ove alle pieghe principali, dirette pressapoco NE-SW e apparentemente isoclinali, si sovrappongono delle pieghe trasversali, pur esse strette e costipate. Ciò spiega perchè spesso gli ammassi di antracite siano allungati in senso prossimo alla massima pendenza degli scisti incassanti.

Alle deformazioni per flessione sopra ricordate, bisogna aggiungere inoltre le intensissime laminazioni, che hanno conferito ai terreni carboniferi della zona pennidica quell'aspetto di apparente isoclinalità e di pseudo-stratificazione che più colpisce a prima vista. In conseguenza di movimenti laminari, svoltisi a notevole profondità e in presenza di un'attiva mobilitazione cristallina, si è determinato lo slittamento e il rotolamento dei granuli minerali e di gruppi di granuli lungo innumerevoli superfici subparallele, che potevano essere volta a volta gli originarî piani di stratificazione dei terreni sedimentarî oppure piani di taglio sviluppatisi meccanicamente. In certi casi, a più antichi scorrimenti lungo i piani di stratificazione, sono succeduti movimenti

---

[1] Nel Lias si ha l'emersione della grande cordigliera del Brianzonese, embrione del futuro ricoprimento del Gran S. Bernardo; questa emersione corrisponde a una delle prime fasi di attività, a carattere ancora precoce, dell'orogenesi alpina. D'altra parte la lunga linea sismica che si estende in corrispondenza al Rodano vallese, continuandosi lontano nelle Alpi Occidentali, permette di credere che i movimenti tettonici non siano ancora del tutto estinti alla base del ricoprimento Gran S. Bernardo.

lungo piani di taglio obliqui ai primi; allora la scistosità sviluppatasi secondariamente nella roccia, in seguito all'orientamento dei granuli minerali determinato dai processi di laminazione, non ha nulla a che fare con la primitiva stratificazione, che interseca sotto angoli diversi e spesso maschera quasi del tutto. È questo il caso osservato nei terreni carboniferi vicino a La Thuile, nei quali è altresì possibile constatare che lo sviluppo della scistosità secondaria è stato accompagnato dalla formazione di cristalli di albite lungo i piani di taglio e di scorrimento (deformazione paracristallina rispetto al plagioclasio). I fenomeni di laminazione non si limitano alle roccie incassanti i giacimenti di antracite, ma colpiscono lo stesso combustibile, che spesso presenta sistemi di piani di taglio più o meno paralleli e caratteristici noduli subellissoidici (i così detti « frutti »). Questi ultimi si ritengono generati meccanicamente da intense azioni di pressione [1]. Del resto l'ingrossamento a lenti e a tasche dei letti di antracite, nonchè la riduzione e la soppressione per via meccanica del combustibile si spiegano solo con movimenti di slittamento paralleli ai piani di stratificazione, facilitati dalla natura più tenera del carbon fossile in confronto agli scisti cristallini incassanti. L'antracite avrebbe quindi funzionato in certo modo da « lubrificante tettonico », consentendo il facile scivolamento relativo dei banchi rocciosi fra i quali era compresa; sfuggendo ai punti di maggior pressione, ove si laminava e si assottigliava fino a scomparire del tutto, e accumulandosi invece in corrispondenza alle « ombre di pressione », spesso iniettata lungo le fessure e i vani creati dalle deformazioni tettoniche. Una riprova di ciò si ha nel fatto che le rocce inglobanti i giacimenti di carbon fossile non presentano di solito quei ripiegamenti bizzarri e complicatissimi che sono proprî delle masse di combustibile.

Quando i piani della scistosità principale sono obliqui rispetto alle superfici di stratificazione, determinano ripetuti rigetti nella

---

[1] In particolare, essi potrebbero forse corrispondere a romboedri originati dall'interferire di più sistemi di piani di taglio, fra loro e con le superfici di stratificazione. Col proseguire della deformazione i romboedri, travolti nelle correnti tettoniche, dovettero subire degli spostamenti relativi rispetto alla massa inglobante, con conseguenti effetti di laminazione; in tal modo gli originarî romboedri, data anche la non grande resistenza del loro materiale costitutivo, si sarebbero un po' alla volta trasformati nei noduli subellissoidici. Si può inoltre domandarsi se nella genesi dei noduli non siano entrate in gioco anche parziali rotazioni dei piani di taglio, tutt'altro che impossibili in questi tipi di deformazione.

successione sedimentaria, interessando quindi anche gli stessi ammassi di combustibile. Questo fatto, naturalmente, non è privo di importanza al fine della ricerca e dello sfruttamento dei giacimenti antracitici.

Le complesse deformazioni sopraccennate e i concomitanti processi di cristallizzazione metamorfica, che hanno impartito alla massima parte delle rocce della formazione carbonifera pennidica una distinta facies tettonica scistoso-cristallina a caratteri di epizona, non si possono assolutamente spiegare senza l'intervento di grandiose dislocazioni. Infatti solo imponenti fenomeni di ricoprimento possono aver creato l'ambiente atto a consentire l'intimo, profondo rimaneggiamento meccanico delle roccie e la loro più o meno contemporanea cristalloblastesi, ambiente condizionato soprattutto dai fattori: forte spinta orientata orogenetica, enorme pressione di carico e considerevole aumento della temperatura. La deformazione delle rocce in corrispondenza di innumerevoli superfici subparallele (piani *s*), nonchè l'orientazione dei granuli minerali secondo direzioni preferite in rapporto con la struttura del reticolo cristallino di ciascuna specie, richiedono necessariamente l'intervento di forti correnti tettoniche tangenziali, generatrici di grandi ricoprimenti. Nella microstruttura di queste rocce è dunque inscritta la storia dei principali movimenti che hanno interessato la regione durante il ciclo orogenetico alpino.

Si è già ricordato in precedenza la posizione tettonica dei terreni carboniferi pennidici delle Alpi Occidentali. Ci limiteremo quindi a precisare alcune particolarità strutturali della zona carbonifera assiale, essendo la sola che contenga giacimenti utili di antracite. Nel settore svizzero, la zona carbonifera che c'interessa è rappresentata nelle lunghe digitazioni esterne del ricoprimento Gran S. Bernardo; queste digitazioni corrispondono a delle anticlinali più o meno laminate, generalmente rivolte verso il basso e all'indietro, sì da creare le condizioni di giacitura caratteristiche per le false sinclinali. Si comprende come in simili casi sarebbe vano ricercare la prosecuzione dei giacimenti antracitici a grande profondità, perchè al di sotto di un certo livello si uscirebbe dalle digitazioni carbonifere per entrare nei terreni mesozoici, che verso il basso le avvolgono completamente. Nell'alta Valle di Aosta avremmo a che fare, secondo gli studi più recenti, tanto con anticlinali in posizione normale, cioè con la cerniera rivolta verso l'alto (paraggi di La Thuile), quanto con digitazioni sotto-retroflesse, come quella della Touriasse presso il valico del Piccolo

San Bernardo. Ma i risultati di questi studi non possono considerarsi come definitivi, avendo un carattere molto generale oppure essendo limitati ad un'area ristretta. Sarebbero quindi opportune nuove ricerche, atte a chiarire i dettagli della complicatissima tettonica della zona carbonifera dell'alta Valle d'Aosta, dato che l'estrema irregolarità dei giacimenti antracitici è una conseguenza diretta della tormentatissima struttura di questa regione. Nelle Alpi Francesi, la zona in discorso si allarga considerevolmente estendendosi a formare il grande « ventaglio carbonifero », complesso sistema di digitazioni frontali, esterne ed interne, del ricoprimento Gran S. Bernardo, di solito in condizioni più o meno normali di giacitura. Il motivo si ripete nelle Alpi Marittime, ma in proporzioni molto ridotte.

Possiamo ora chiederci se in base alle moderne concezioni geologiche, sia lecito sperare nell'esistenza di giacimenti antracitici di età carbonifera al di fuori delle zone in cui sono stati finora rinvenuti. A questo riguardo si deve anzitutto osservare che i terreni carboniferi pennidici delle Alpi piemontesi si limitano più o meno alle aree che abbiamo in precedenza ricordato. Essi poggiano, come si è già osservato, sopra gli scisti prepaleozoici del Cristallino antico oppure, più limitatamente, sopra gli ortogneiss ercinici. È chiaro come in tali condizioni sarebbe assurdo pretendere di incontrare dei giacimenti antracitici negli scisti cristallini sottostanti normalmente ai terreni carboniferi. Questa considerazione, per quanto ovvia, va però tenuta presente nei riguardi di certe concezioni formulate e sostenute da taluni geologi d'Oltralpe, anche molto valenti, secondo cui i terreni carboniferi e permiani della zona assiale passerebbero lateralmente verso est e verso nord, per graduale aumento nell'intensità del metamorfismo, ai micascisti e ai paragneiss del ricoprimento Gran San Bernardo e perfino agli gneiss ghiandoni del ricoprimento Gran Paradiso! Senza soffermarci a dimostrare l'assurdità di simile ipotesi, essendocene già occupati in un lavoro che uscirà fra breve nel « Bollettino della Società Geologica Italiana », facciamo rilevare come, accettando questo modo di vedere, verremmo ad ammettere implicitamente l'età permo-carbonifera, anzichè prepaleozoica, dei micascisti e dei paragneiss del ricoprimento Gran San Bernardo e quindi per conseguenza anche di quelli del ricoprimento Dora-Val Maira, nonchè l'originaria natura sedimentaria anzicchè eruttiva degli gneiss ghiandoni del Gran Paradiso e dei corrispondenti ortogneiss del Dora-Maira. In tal caso sarebbe lecito ammettere la possibile esistenza di letti e lenti di antracite

o per lo meno di grafite in seno a questi scisti di presunta età permo-carbonifera. A nostro giudizio, qualsiasi ricerca che si basasse su simili premesse sarebbe destinata a sicuro insuccesso, giacchè il substrato normale del Carbonifero produttivo è completamente sterile, essendo in realtà costituito, come si è già detto, dagli scisti prepaleozoici del Cristallino antico oppure dagli ortogneiss ercinici, sulla cui origine eruttiva non sussiste oggi il menomo dubbio.

La speranza di incontrare giacimenti antracitici al di sotto degli ortogneiss ercinici o degli scisti del Cristallino antico potrebbe essere giustificata, in una certa misura, solo nel caso che ci trovassimo in presenza di una serie stratigrafica rovesciata tettonicamente, per cui il Carbonifero venisse ricoperto dai terreni più antichi. È questo un fenomeno di ricoprimento, con inversione della normale successione stratigrafica, che si manifesta con la massima evidenza in molti punti lungo la zona carbonifera detta assiale, come pure in corrispondenza alla zona grafitica delle Alpi Cozie e a talune delle analoghe formazioni affioranti nelle valli di Cogne, di Rhême e della Savara. E siccome è ormai definitivamente accertato che la zona pennidica è costituita da una successione di gigantesche pieghe coricate e sovrapposte le une alle altre, così nulla di più naturale che al di sotto di taluni ricoprimenti tettonici si trovino lembi più o meno estesi di Carbonifero, rappresentanti in parte la prosecuzione profonda degli affioramenti superficiali. Ma si comprende come la ricerca e lo sfruttamento di simili ipotetici giacimenti non potrebbero essere che estremamente aleatorî sia per l'irregolare sviluppo dei terreni carboniferi, che frustrerebbe qualsiasi previsione fondata sull'esame delle condizioni geologiche superficiali, e sia perchè a grande profondità e in zone di intenso rimaneggiamento tettonico-metamorfico noi troveremmo al più della grafite in luogo dell'antracite, come si verifica nella Valli del Chisone e della Germanasca. Infatti non si deve dimenticare che i grandi ricoprimenti pennidici, tipo Gran San Bernardo e Dora-Maira, raggiungono spessori verticali di parecchie migliaia di metri e possono quindi scendere con la loro base a una profondità di qualche chilometro sotto il livello del mare. A questo proposito, la zona grafitica delle Alpi Cozie consente di farci un'idea approssimativa di quelle che dovrebbero essere le condizioni dei terreni carboniferi eventualmente esistenti al di sotto del ricoprimento Dora-Maira. Come si è già accennato, questo enorme complesso tettonico è costituito da una serie di grandiose pieghe anticlinali di scisti cristallini pretrias-

sici scorse le une sopra le altre verso l'esterno della catena alpina. Fra queste anticlinali coricate s'insinua dal basso una lunga sinclinale carbonifera, colpita da ripetute pieghe trasversali, che si chiude verso la pianura padana; la serie grafitica delle Alpi Cozie è appunto implicata entro questa complessa piega sinclinale e affiora a giorno perchè gli elementi superiori del ricoprimento sono stati localmente asportati dall'erosione, dando luogo così alla formazione di una grande finestra tettonica. Molto probabile dunque che il Carbonifero della Val Chisone e del M. Bracco si continui in profondità verso occidente, al di sotto degli elementi superiori del ricoprimento Dora-Val Maira, ma nessun dubbio però che esso non vi assuma caratteri analoghi a quelli proprî alla zona grafitica delle Alpi Cozie, ove l'antracite è quasi sempre sostituita dalla grafite.

Da quanto abbiamo esposto risulta evidente che la speranza di trovare giacimenti utili di antracite alla base dei grandi ricoprimenti pennidici è molto limitata e che perciò ogni previsione al riguardo deve essere circondata dalle maggiori cautele. Ma mentre possiamo giudicare senz'altro inutile tale ricerca nella prosecuzione profonda della zona grafitica delle Alpi Cozie, riteniamo che sarebbe opportuno intensificare in questo senso gli studi sulla zona carbonifera dell'alta Valle d'Aosta, la quale, per la sua particolare struttura tettonica, potrebbe riservare ancora qualche interessante sorpresa. Infatti non è impossibile che giacimenti sfruttabili di antracite si prolunghino verso il basso per un considerevole tratto sotto il livello del fondovalle di La Thuile, alla base del ricoprimento Gran S. Bernardo. È però evidente che senza un rigoroso e completo studio tettonico dell'intera formazione carbonifera aostana, che valga a chiarirne in via definitiva la complicatissima struttura, sarebbe vano ricercare la prosecuzione in profondità della zona antracitica utile e far previsioni, anche solo largamente approssimative, sulla probabile cubatura del carbon fossile in essa contenuto. Lo scopo di queste nostre considerazioni potrà dirsi raggiunto se esse varranno a dimostrare l'inderogabile necessità che gli eventuali, futuri studi per la ricerca e lo sfruttamento di combustibili fossili nelle Alpi Italiane siano condotti sulla base rigorosa delle moderne concezioni geologiche.

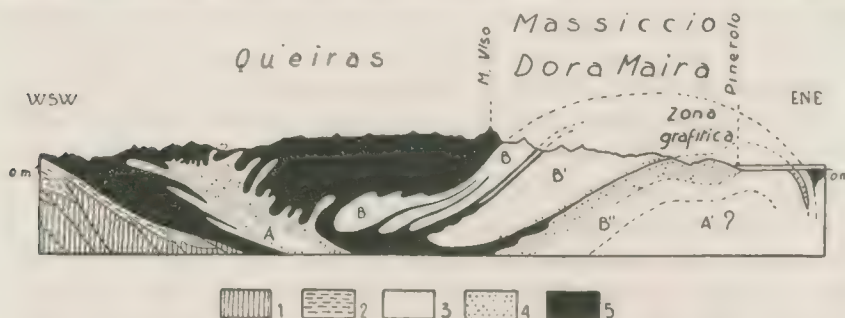
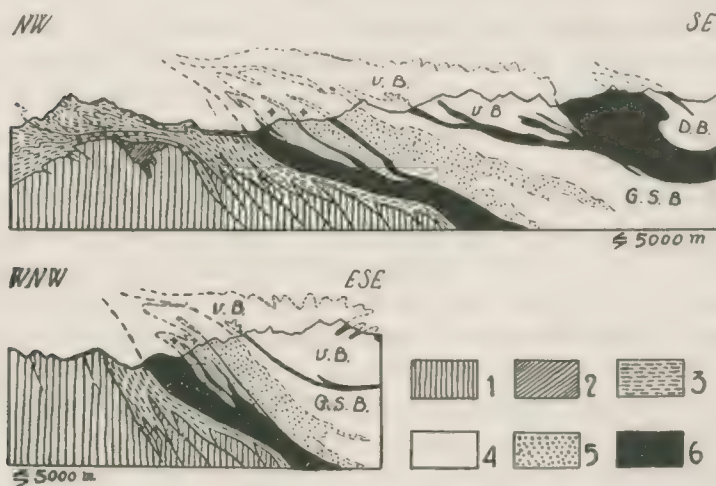



Fig. 1. — *Elvetidi:* 1, Cristallino dei massicci ercinici; 2, terreni sedimentari. — *Pennidi:* 3, terreni pretriassici in generale dei ricoprimenti del Gran S. Bernardo (*A*) e del Dora-Maira (B-B''); 4, terreni carboniferi (zona carbonifera detta « assiale » nel ricoprimento Gran San Bernardo, *A*; zona grafitica nel ricoprimento Dora-Maira, B'-B''); 5, Mesozoico metamorfico a facies piemontese (calcescisti del Lias con ofioliti; marmi, dolomie, quarziti ecc. del Trias); Mesozoico e Terziario a facies brianzonese. Scala = 1 : 800.000 circa.

Evidente la distribuzione del Carbonifero della « zona assiale » nelle digitazioni anteriori, esterne e interne, del ricoprimento Gr. S. Bernardo (*A*), e l'implicazione del Carbonifero della « zona grafitica » nella lunga sinclinale coricata compresa fra le grandi subfalde del ricoprimento Dora-Maira (B-B''). Dal grafico risulta chiaro come la zona grafitica delle Alpi Cozie fosse in origine ricoperta dalle potenti subfalde superiori (B-B') del ricoprimento Dora-Maira, a cui sovrastavano le prosecuzioni orientali delle masse ofiolitiche del Monviso e probabilmente altri elementi tettonici più elevati, ora distrutti dalla erosione.

Sec. E. ARGAND, *Les nappes de recouvrement des Alpes Occidentales* ecc., 1911 (bibl. 1), leggermente modificato.

Figg. 2 e 3. — *Elvetidi:* 1, Cristallino dei massicci ercinici; 2, Carbonifero e Permiano; 3, Mesozoico e Terziario. — *Pennidi:* 4, terreni pretriassici in generale dei ricoprimenti Gran S. Bernardo (G. S. B.) e Dent Blanche (D. B.); 5, Carbonifero del ricoprimento Gran S. Bernardo; 6, Mesozoico e Terziario (?) metamorfici.

G. S. B. = ricoprimento Gran S. Bernardo; V. B. = ventaglio di Bagnes del medesimo ricoprimento; D. B. = ricoprimento Dent Blanche. + + = digitazioni esterne sottoretroflesse del ricoprimento Gran S. Bernardo.

I due profili sono condotti attraverso le montagne del Vallese. La sezione superiore si estende dalla P.te de Chemoz (a sinistra) alla valle del Rodano e al M. Dolin (a destra); la sezione inferiore si estende dai pressi di Champex (a sinistra), a Orsières fino al Combin de Corbassière (a destra). Scala = 1 : 400.000 circa.

Da P. CHRIST, *Das produktive Karbon der Schweizeralpen*, ecc., 1925 (bibl. 8), un po' semplificato.

PRINCIPALE BIBLIOGRAFIA

1. ARGAND E., *Les nappes de recouvrement des Alpes Occidentales et les territoires environnants. Essai de Carte structurale au 1 : 500.000, avec 3 pl. de coupes au 1 : 400.000 et au 1 : 800.000*, « Matér. Carte géol. Suisse », N. S. XVII Livr., carte spéciale N. 64, 1911.
2. ARGAND E., *Les nappes de recouvrement des Alpes Pennines et leurs prolongements structuraux*, « Matér. Carte géol. Suisse », N. S. XXXI livr., 1911.
3. ARGAND E., *Sur l'arc des Alpes occidentales*, « Eclogae geologicae Helvetiae », v. XIV, 1916.
4. BIBOLINI A., *Su di un raccordo fra le zone grafitiche della bassa Valle del Chisone e di Giaveno, e sulle connesse manifestazioni metallifere*. « Mem. Soc. Geol. Ital. », v. I, Roma 1931.
5. BIBOLINI A. e GIORDANA A., *Contributo alla conoscenza delle antraciti alpine. L'antracite di La Thuile in Valle d'Aosta*. « Atti R. Acc. Scienze di Torino », v. 69, 1934, p. 327.
6. *Carta geologica delle Alpi Occidentali* alla scala 1 : 400.000, pubblicata dal R. Ufficio Geologico Italiano in base ai rilevamenti di: FRANCHI S., MATTIROLO E., NOVARESE V., STELLA A., ZACCAGNA D. - Roma 1908.
7. *Carta geologica d'Italia* alla scala di 1 : 100.000, pubblicata dal R. Ufficio Geologico Italiano. Fogli: *Aosta, M. Bianco, Gran Paradiso, Oulx, Pinerolo, Dronero-Argentera, Demonte, Boves, Albenga-Savona*, rilevati da FRANCHI S., MATTIROLO E., NOVARESE V., STELLA A., ZACCAGNA D.
8. CHRIST P., *Das produktive Karbon der Schweizeralpen, II Teil: Die Walliser Anthrazitlagerstätten und der Walliser Anthrazitbergbau vährend der Jahre* 1917-1924, « Beiträge geol. Karte d. Schweiz », Geotechnische Serie, XI Lief., Bern 1925, con 15 tavv.
9. CORNELIUS H. P., *Zur Vorgeschichte der Alpenfaltung*, « Geolog. Rundschau », v. XVI, 1925.
10. DAL PIAZ G. B., *Geologia della Catena del Grand Nomenon-Grivola-Herbetet*, « Mem. Ist. Geol. Padova », vol. VII, 1928, con carta geologica 1 : 25.000.
11. DAL PIAZ G. B., *La discordanza ercinica nella zona pennidica alpina e le sue conseguenze nei riguardi della storia geologica delle Alpi*. « Boll. Soc. Geol. Italiana », in corso di stampa.
12. DE CASTRO C., FRANCHI S., MATTIROLO E., OREGLIA E., PELLATI N., PEOLA P., STELLA A., ZACCAGNA D., *I giacimenti di antracite delle Alpi Occidentali Italiane*, « Mem. Descrittive della Carta geol. d'Italia », v. XII, 1903, con 14 tavv.
13. DESSAU G., *La miniera di « La Promise » (La Thuile, Aosta)*, « Atti Reale Accad. Scienze di Torino », v. 71, 1936, p. 85.
14. [ELTER F.], *Le antraciti di La Thuile*, con 16 tavv., « Boll. della Soc. An. Naz. Cogne », N. 5, Torino, 1933.
15. GORTANI M. e DESIO A., *Note illustrative del foglio « Pontebba » della Carta Geologica delle Tre Venezie*, alla scala 1 : 100.000, pubblicata dal R. Magistrato alle Acque », Padova 1927.

16. HEIM A., *Geologie der Schweiz*, Lipsia, Tauchnitz, 1919-22, v. II_2.
17. LUGEON M. e ARGAND E., *Sur les grandes nappes de recouvrement de la zône du Piemont*, « Compt. Rend. Acad. Scienc. », Parigi, 1905.
18. LUGEON M. e ARGAND E., *Sur les omologies dans les nappes de recouvrement de la zône du Piemont*, Ibidem, v. 140, 1905.
19. MADDALENA L., *L'antracite di La Thuile e la sua razionale utilizzazione*, « Rivista tecnica delle Ferrovie Italiane », vol. XLI, a. 1932, N. 2.
20. NOVARESE V., *I giacimenti di grafite delle Alpi Cozie*, « Boll. R. Comitato Geologico », Roma 1898.
21. PUSSENOT CH., *La nappe du Briançonnais et le bord de la zone des schistes lustrés entre l'Arc et le Guil*, Grenoble, Imprimerie Allier, 1930.
22. SANDER B., *Gefügekunde der Gesteine*, Wien 1930.
23. STAUB R., *Der Bau der Alpen*, « Beitr. geol. Karte der Schweiz », N. F. 52 Lief., Bern 1924.
24. STELLA A., *Nuovi studî sui giacimenti di antracite della Thuile* (*Valle di Aosta*), « Mem. Soc. Geol. Italiana », v. I, 1933.
25. TERMIER P., *Sur la nécessité d'une nouvelle interprétation de la tectonique des Alpes franco-italiennes*. « Bull. Soc. Géol. de France », 4 sér., v. VII, 1907.
26. WEGMANN E., *Zur Geologie der St. Bernharddecke im Val d'Hérens*, « Bull. Soc. neuchâtel. Sc. nat. », t. XLVII, Neuchâtel, 1923.
27. WEHRLI L., *Das produktive Karbon der Schweizeralpen. I Teil: Uebersicht und Geschichte des Bergbaues von seinen Anfängen bis Mitte* 1917, « Beitr. geol. Karte d. Schweiz », Geotechnische Serie, XI Lief., Bern 1925.

PAOLO DORE

DIRETTORE DELL'ISTITUTO DI GEODESIA DELLA R. UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Il metodo di indagine gravimetrico nelle ricerche petrolifere.

RIASSUNTO. — *In ordine ai procedimenti del metodo detto gravimetrico di indagine del sottosuolo vengono sommariamente esposti lo stato attuale dei mezzi strumentali per determinare elementi del campo della gravità, le esigenze di riduzione dei dati di misura, i concetti fondamentali cui si ispira la interpretazione dei dati stessi ai fini di dedurre indicazioni sulla tettonica nascosta.*

È mio compito brevemente riferire sui fondamenti e le condizioni attuali di utilizzazione del metodo detto gravimetrico di indagine geofisica del sottosuolo, in ordine particolarmente alle ricerche petrolifere. Tale metodo, astrazion fatta da più antiche misure magnetiche, è forse quello che per primo si è affermato con positivi felici risultati nell'uso largo e sistematico di ricerche fisiche a sussidio della geologia e della prospezione, ed il suo impiego è da considerarsi tuttora come fondamentale nella più gran parte delle ricerche e particolarmente in quelle preliminari volte a indagare la possibilità e la esistenza di strutture produttive in campi petroliferi.

Ogni metodo di geofisica applicata si propone in sostanza l'individuamento di un « corpo geologico » di un limitato complesso cioè di formazioni che, presentando interesse ai fini della ricerca che si conduce, si differenzia dalle roccie contermini e incassanti nei confronti di una determinata proprietà fisica, a mezzo di misure di grandezze legate a tale proprietà. Era naturale che si cominciasse con le più evidenti ed elementari delle proprietà fisiche quale appunto la densità. Una differenza di densità fra le roccie del corpo geologico e le roccie contermini o incassanti influisce sul circostante campo di forze della gravità inducendo nelle grandezze che lo caratterizzano variazioni che possono essere oggetto di misura.

Dalle variazioni del campo della gravità così determinato non può univocamente dedursi la distribuzione di densità che le genera per la natura stessa del legame tra azione gravitazionale e distribuzione di densità che la induce. Sta infatti, dal punto di vista analitico, la possibilità di costruire, entro uno spazio τ limitato da una qualsiasi superficie, quanti si vogliono corpi di attrazione nulla. Fisicamente, tuttavia, le densità accettabili per le formazioni variano entro ristretti limiti e le forme del corpo geologico si riducono genericamente ad alcuni tipi caratterizzanti particolari unità tettoniche e legati quindi a fatti plicativi (anticlinali, sinclinali), a dislocazioni, discordanze ecc. La indagine geologica che deve in ogni caso precedere quella geofisica deve dare elementi che permettano di fare plausibili ipotesi su tali caratteristiche e la interpretazione del geofisico deve sceverare tra quelle ipotesi quella che meglio si adatta ai dati delle misure, con una appropriata valutazione delle approssimazioni conseguite e conseguibili e con un lavoro di intuizione che rende l'attività del prospettore, come in genere ogni attività ingegneristica, un po' un'arte.

A rendere più preciso conto delle possibilità e dei procedimenti del metodo si riassume brevemente lo stato attuale dei mezzi strumentali di cui si dispone per la determinazione di elementi del campo della gravità. Se si fa astrazione dalla determinazione atronomica di coordinate geografiche che dànno la direzione del vettore gravità, elemento non utilizzato in genere nel campo della geofisica applicata, i mezzi strumentali in questione si classificano in tre tipi:

a) pendoli invariabili;
b) bilancia di torsione;
c) gravimetri statici.

I pendoli invariabili, introdotti come è noto dallo Sternek, consentono, con il confronto delle loro durate di oscillazione in un luogo con quelle in altro luogo in cui la gravità sia nota, misure relative dell'accelerazione di gravità. Ai fini geofisici tali misure possono effettuarsi con un ordine di approssimazione nettamente superiore a quello necessario a fini puramente geodetici e a quello con cui si hanno le misure assolute di gravità. L'uso di pendoli minimali, a piccolissimo coefficiente di dilatazione, di periodi di oscillazione prossimamente uguali, oscillanti a coppie in recipienti pneumatici; la registrazione fotografica o a mezzo di cellula

fotoelettrica delle oscillazioni; l'eliminazione dell'influenza dell'andamento dell'orologio di osservazione con la registrazione di segnali radio e l'uso di campioni di tempo a quarzo o di pendoli invariabili di riferimento; la ripetizione delle misure con strumenti ed osservatori diversi, consentono attualmente di portare l'error medio di una differenza di gravità a 0,2-0,3 mgal (mgal = 10^{-3} cm.-sec.$^{-2}$) riducendo di circa un quinto l'error medio delle misure più fini che fino a poco tempo fa potevano esser compiute e arrivando quindi al cospicuo risultato di misure eseguite con errori relativi dell'ordine di 10^{-7}. Sono di grande interesse a questo proposito i risultati ottenuti all'Istituto Geodetico di Potsdam.

Le misure di gravità relativa compiute con i pendoli, e tanto più se debbano raggiungere l'accennato massimo di approssimazione, sono misure di notevole costo ed impegno di tempo; e pertanto eseguibili in limitato numero su punti di norma tra loro distanti di molte decine di chilometri.

Il dato delle misure pendolari è il valore della derivata prima del potenziale della gravità W secondo la normale alla superficie di livello che passa per il punto di osservazione. La bilancia di torsione, introdotta da Eötwos sulla fine del secolo scorso, e costituente una modificazione della bilancia di Coulomb per il fatto che le due masse si trovano a diversa altezza rispetto al centro di sospensione del giogo, permette una più intima indagine del campo gravimetrico. L'osservazione della posizione di equilibrio del giogo della bilancia per cinque diversi valori iniziali dell'azimut del giogo stesso permette, nella ipotesi sicuramente lecita di una variazione lineare del campo nello spazio dalla bilancia stessa occupata, la determinazione delle derivate seconde miste $\frac{\partial^2 W}{\partial z \partial x}$, $\frac{\partial^2 W}{\partial z \partial y}$, $\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y}$ e della differenza tra le derivate seconde pure $\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 W}{\partial y^2}$ del potenziale della gravità. Tali grandezze hanno dimensioni t^{-2} e per esse si assume come unità 10^{-9} sec.$^{-2}$, detta Eötwos, e la loro misura è effettuabile a mezzo della bilancia con approssimazione effettiva di circa due di tali unità. Le prime due di esse dànno le componenti della variazione del vettore gravità per uno spostamento lungo la superficie di livello passante per il punto, e determinano quindi il « gradiente » della gravità nel punto, le altre due sono legate alla curvatura della superficie di livello e permettono determinare su questa la direzione delle sezioni principali e la differenza tra i raggi principali di curvatura.

Le misure Eötwossiane — allo stato attuale della costruzione di bilancie a registrazione fotografica della posizione di equilibrio dei gioghi, a più gioghi, gioghi inclinati ecc. — possono condursi con celerità e costituiscono un mezzo di indagine relativamente economico. Il loro rilevamento ha carattere di dettaglio e si effettua su punti frequentemente tra loro non distanti più di 500 m.: per altro le esigenze delle riduzioni di cui più sotto sarà detto limitano di fatto l'uso della bilancia a terreni di pianura o comunque a morfologia molto dolce.

La opportunità di liberarsi da così fatti vincoli e l'interesse più sotto illustrato di dirette determinazioni di gravità relativa su punti distribuiti sul terreno in posizione reciproca analoga a quella in cui si trovano i punti di stazione di un rilievo Eötwossiano, e aventi quindi una frequenza molto diversa da quella consentita dai rilievi pendolari, ha spinto, specie in questo ultimo decennio, ricercatori e costruttori allo studio di apparati gravimetrici statici atti appunto a dare misure di gravità relativa con precisione e rapidità convenienti. La importanza che tali strumenti hanno assunto nel campo industriale della ricerca petrolifera e il fatto che la massima parte di essi siano stati studiati e attuati appunto con fini immediatamente pratici direttamente da organismi industriali aventi scopi di ricerca mineraria, ha fatto sì che intorno ad essi si sia mantenuto un riserbo inconsueto nell'ambito della ricerca scientifica sì che dei più di essi si hanno scarse notizie e dati incompleti in modo che non è possibile farne una trattazione teorica e dare sicuri giudizi critici.

Il principio generale cui tali gravimetri si ispirano si è quello di misurare le variazioni di gravità da luogo a luogo a mezzo della variazione della posizione di equilibrio di un sistema meccanico in cui all'azione della gravità fa equilibrio una forza elastica che deve rimanere costante entro limiti che garantiscano alla misura la precisione richiesta. Ove questa sia dell'ordine di 0,1-0,2 milligal, come è di fatto, le esigenze di tali apparati sono veramente molto importanti e dal punto di vista costruttivo e dal punto di vista della necessaria eliminazione di influenze di variazioni ambientali.

La forza elastica è in generale generata a mezzo di una molla; solo nel gravimetro di Haalk, che è molto interessante, ma non è ormai da considerarsi più nell'ambito della geofisica applicata, la forza elastica è generata da una massa gassosa chiusa in opportuno recipiente. Tutti i molti gravimetri che con maggiore o minor fortuna sono stati proposti e adottati in America e in Europa fanno

uso di molle elastiche: a parte questo dato comune essi si distinguono per caratteristiche costruttive profondamente diverse: possono essere astatizzati con il conseguente vantaggio di modeste esigenze nella approssimazione della misura della forza direzionale totale: possono essere, o no, smorzati: possono avere più o meno complicati dispositivi di compensazione degli effetti di temperatura e quindi minori o maggiori esigenze di protezione con termostati: possono avere dispositivi vari di magnificazione e di lettura, meccanici, ottici, elettrici. Senza entrare in ulteriori dettagli può dirsi che sono ormai di uso corrente un certo numero di tipi di gravimetri che permettono l'esecuzione di 15-20 determinazioni quotidiane di gravità relativa con approssimazioni dell'ordine di 0,1-0,3 milligal circa, e rendono quindi possibile la esecuzione di fitti rilievi gravimetrici regionali appoggiati a convenienti reti di determinazioni pendolari.

La possibilità di dedurre dagli elementi del campo gravimetrico, misurati con gli strumenti sopra accennati, dati intorno alle distribuzioni di densità interessanti indagini di tettonica nascosta implica in qualche modo la possibilità di riferirsi, per i confronti, ai corrispondenti elementi che caratterizzerebbero il campo gravimetrico qualora tali distribuzioni non esistessero. Occorre cioè — considerando la distribuzione di densità corrispondente alla struttura tettonica in questione come anomala rispetto a quella corrispondente a formazioni non perturbate — poter determinare la corrispondente anomalia del campo gravimetrico. È a partir da tali anomalie che deve tentarsi risalire alle strutture che le generano; e la determinazione delle anomalie è un momento cruciale dell'indagine gravimetrica che presenta sostanziali difficoltà.

È noto e non è possibile in questa sede non ricordare le recenti importantissime ricerche del Somigliana in proposito, che considerando *in toto* il campo della gravità si definisce un campo normale, corrispondente alla superficie geoidica ellissoidica, cui può riferirsi una distribuzione normale di densità. Si hanno per tal campo in corrispondenza di ogni punto di assegnate coordinate geografiche e quota, valori, detti appunto normali, della accelerazione, del gradiente, della curvatura della superficie di livello. I valori di fatto osservati in tal punto differiranno da quelli normali per la influenza delle masse esterne all'ellissoide e delle masse interne costituenti la distribuzione anomala rispetto a quella che genera il campo normale. Sono in genere trascurabili le influenze variabili con il tempo dovute a movimenti di masse atmosferiche,

a fatti vulcanici, a marea della crosta o del mare, se si eccettua se mai questa ultima per stazioni sulle coste marine.

La influenza delle masse esterne costituenti le formazioni continentali e topografiche può entro certi limiti di approssimazione condizionati dalle nostre conoscenze sulla morfologia e la densità delle formazioni, esser calcolata. Sulle conseguenti correzioni da apportarsi ai valori osservati vi è una vasta letteratura che indaga sui problemi ad esse connessi non semplici e non del tutto risolti, e sono predisposti in proposito procedimenti adeguati. Le correzioni sono particolarmente delicate per i dati Eötwossiani sì da rendere come si è accennato la bilancia di fatto inutilizzabile in regioni collinose e montuose.

Per quanto riguarda le distribuzioni interne di densità perturbanti la distribuzione normale è noto che, dal punto di vista geodetico e considerando il campo gravimetrico nel suo complesso, lo studio della distribuzione delle anomalie di gravità ottenute spogliando i valori osservati ridotti al geoide dell'influenza delle masse esterne ha portato alla formulazione della teoria della isostasi. Accettata tale teoria un'analisi delle anomalie ottenute apportando alla gravità osservata la correzione topografica isostatica, che tien conto e delle masse esterne e di quelle interne compensanti, può servire ad illustrare in una certa misura i grandi lineamenti tettonici di interesse continentale e largamente regionale. Si tratta in genere di anomalie notevoli frequentemente dell'ordine di qualche diecina di milligal: si pensi, a dare una idea degli ordini di grandezza, che rappresentando convenzionalmente le densità perturbanti con strati superficiali distribuiti sulla superficie del geoide, ad una potenza di 10 m. di roccie di densità 2,5 corrisponde un'anomalia di circa un milligal. Ricerche di tal fatta interessano le ricerche geologiche in una fase preliminare al fine di orientarsi intorno a grandi fatti regionali, ma non sono ancora di vera e propria geofisica mineraria. A questa interessano fatti locali che implicano una indagine più minuta del campo della gravità: l'oggetto della ricerca si limita frequentemente a pieghe di estensione limitata a qualche chilometro, se non meno, secondo la massima dimensione, e si tratta di determinare piccole variazioni locali nel campo gravimetrico. Il problema della riduzione dei dati gravimetrici per una utilizzazione di questo tipo è problema in qualche modo indeterminato: i valori osservati spogliati dei corrispondenti valori normali e della influenza delle masse esterne dànno l'anomalia prodotta da tutte le masse perturbanti interne alla superficie del geoide; data la vicinanza dei punti cui i valori

si riferiscono le masse effettuanti la compensazione isostatica possono avere influenza presso a poco uguale sui punti stessi, vi saranno per altro in genere strutture più vaste e più profonde di quelle la cui ricerca interessa che apporteranno un contributo all'anomalia, contributo da cui l'anomalia stessa agli effetti della ricerca deve esser liberata. Si suol chiamare regionale tale influenza e la corrispondente correzione. È però in genere impossibile un calcolo a priori della correzione regionale per l'ignoranza in cui si è dei presupposti di geologia profonda che dovrebbero stare alla base del calcolo. In difetto di ciò si tenta una determinazione a posteriori della correzione stabilendo lungo opportuni profili un andamento medio dell'anomalia gravimetrica da considerarsi come di origine regionale e deducendo quindi la corrispondente correzione. Tale correzione per i gradienti si ottiene deducendo per integrazione lungo il profilo la curva delle Δg rispondenti ai gradienti osservati, costruendo la curva media delle Δg e deducendo da questa per derivazione il gradiente regionale.

Un esempio tipico della importanza delle influenze regionali si ha nei rilievi gravimetrici dei campi petroliferi subcarpatici rumeni, cui val la pena far cenno. I più importanti adunamenti di petrolio si trovano colà nelle sabbie « meotiche » e « daciche » sui fianchi delle anticlinali plioceniche aventi a nucleo diapiri di sale. Tali anticlinali costituiscono delle deficienze di densità rispetto alla copertura « levantina » formata da conglomerati ghiaiosi pesanti che mancano quasi completamente in rispondenza delle cerniere delle anticlinali, mentre possono arrivare alla potenza di un migliaio di metri in rispondenza dei fondi delle sinclinali. Sotto questo punto di vista le condizioni per un rilievo gravimetrico si presentano singolarmente favorevoli; se non che esse sono alterate da influenze più profonde, a carattere appunto regionale, interessanti in un più vasto quadro geologico i rapporti tra avanpaese carpatico e l'abbassamento della pianura rumena. Tali influenze sono accusate dal rilievo gravimetrico Eötwossiano che presenta la singolarità di un comportamento nettamente diverso in due plaghe della regione petrolifera separate, grosso modo, da una linea con andamento prossimamente Est-Ovest non molto discosto dalle linee marginali delle colline subcarpatiche. Nella regione più a monte, caratterizzata da sinclinali intracollinari e da anticlinali diapire a massicci salini prossimi alla superficie, i gradienti cambiano di senso in corrispondenza delle creste rivelando i minimi e massimi relativi dell'anomalia: la influenza delle strutture locali si manifesta compiutamente. Verso la piana invece non si ha mai inver-

sione dei gradienti, che han sempre direzione verso i fianchi esteriori delle pieghe, e variano poco in direzione e notevolmente in intensità: i minimi e quindi le anticlinali sono accusati da gradienti piccoli che via via van crescendo e in conseguenza dall'aumento delle distanze tra isoanomala e isoanomala. Ciò dipende dal sovrapporsi di influenze regionali che possono, almeno per circa la metà del loro ammontare, esser spiegate con la presenza in profondità di una grande depressione sinclinale di cui il terziario plicato interessante il problema petrolifero costituisce il riempimento, e il cui fianco esterno riposa sul cretaceo della piattaforma prebalcanica mentre il fianco interno terziario-mesozoico riposa sull'autoctono dei Carpazi. In corrispondenza del suo asse l'influenza sui gradienti di tale sinclinale è piccola e gli effetti locali possono compiutamente manifestarsi, allontanandosi dall'asse la influenza delle strutture profonde diviene più importante e maschera in parte l'effetto locale. La restante parte dell'effetto regionale deve essere spiegata con fatti ancor più profondi.

Basti questo cenno a render conto della complessità dei problemi di riduzione delle misure gravimetriche ai fini della interpretazione interessanti la geofisica applicata.

La interpretazione dei dati di osservazione è la fase conclusiva del procedimento e richiede operatori sperimentati e aventi il senso del problema geologico trattato. La interpretazione del rilievo Eötwossiano può esser fatta direttamente sui dati della bilancia, gradiente ed elementi di curvatura, questi ultimi se le correzioni topografiche e cartografiche siano state calcolabili e calcolate con sufficiente approssimazione. Le formazioni tipo: anticlinali, sinclinali, faglie, dislocazioni ecc. inducono delle distribuzioni di anomalie del gradiente e della curvatura, che posson in determinate ipotesi di forma e di differenza di densità, essere calcolate. Si ricorre in genere per tale calcolo alla ipotesi di una massa cilindrica di conveniente sezione indefinitamente estesa nel senso dell'asse, ipotesi accettabile in genere quando lo studio della configurazione dei gradienti e delle curvature si faccia lungo sezioni normali centrali della formazione, abbastanza lontano dagli estremi. Il confronto della effettiva distribuzione dei dati Eötwossiani osservati con tali distribuzioni tipo permette in genere un giudizio di natura qualitativo sul tipo di formazioni perturbanti generanti l'anomalia. Salvo il caso eccezionale in cui particolari contrassegni caratteristici di tali distribuzioni permettano la deduzione di alcune grandezze caratteristiche, di norma si perfeziona

la interpretazione precisando con ipotesi plausibili, che devono essere formulate sulla scorta dei dati geologici, sulle differenze di densità e le particolarità di forma; introducendo tali ipotesi nel calcolo a priori dell'anomalia; e modificando l'ipotesi stessa fino a che la distribuzione ottenuta non sia sufficientemente concordante con quella osservata.

Nell'esame critico dei risultati di osservazione, come del resto nella valutazione a priori della opportunità di un rilievo, occorre tenere sempre presente che per sua natura il gradiente è un dato essenzialmente locale: le sue dimensioni del pari che quelle degli elementi di curvatura, fan sì che masse di ugual densità occupanti spazi simili e similmente posti rispetto al centro di stazione abbiano su di esso effetti uguali. Segue che gradienti anomali importanti possono presentarsi a causa di insignificanti anomalie di densità immediatamente subsuperficiali, il che può rendere in certe circostanze addirittura inutilizzabile il rilievo Eötwossiano.

Una interpretazione può essere anche fatta risalendo dai gradienti all'anomalia gravità: la variazione anomala Δg della gravità tra due punti di una superficie di livello a distanza ϱ se il valore medio del gradiente ha componenti G_x, G_y è prossimamente rappresentata da $G_x\varrho_x + G_y\varrho_y = G\varrho \cos\alpha$ se α è l'angolo tra la direzione del gradiente e quella di ϱ. Segue che lungo un poligono sui cui vertici siasi fatta stazione con la bilancia, a condizione che possa considerarsi lineare la variazione dell'anomalia tra stazione e stazione e che sia trascurabile la differenza di livello tra le stazioni stesse, possono calcolarsi i valori dell'anomalia gravimetrica effettuando, graficamente o numericamente, l'integrale $\int \frac{\partial g}{\partial s} ds$ lungo il percorso s. Riunendo i punti, determinati per interpolazione, in cui tale anomalia ha uguali valori si hanno le linee isoanomale il cui insieme costituisce una rappresentazione sul piano della carta di una superficie S che configura la distribuzione delle anomalie. In certi casi, quando le strutture geologiche possono schematizzarsi in forme semplici prossimamente equivalenti, è possibile un'analogia tra la superficie S delle anomalie e le superficie strutturali. I sopra accennati rilievi rumeni ad es. forniscono a questo proposito un esempio pieno di interesse. Le strutture interessanti la ricerca petrolifera, agli effetti di render conto prossimamente dell'anomalia gravimetrica, possono schematizzarsi in strutture semplici comportanti due mezzi di cui uno rappresenta i conglomerati ghiaiosi del levantino superiore l'altro i complessi sabbiosi del levantino inferiore e del dacico. La super-

ficie S rappresentata dalle isoanomale può prossimamente considerarsi come una negativa della superficie di contatto normale tra conglomerati e complesso sabbioso, nel senso che, data la maggiore densità dei conglomerati superiori ad una variazione altimetrica positiva della superficie di contatto corrisponde una variazione negativa della S. Le isoanomale hanno così un andamento prossimamente uguale a quello delle linee di livello della struttura interessante. In tali casi la carta delle isoanomale riesce una efficace rappresentazione degli elementi interessanti la ricerca: occorre però sempre una valutazione critica ad evitare il pericolo frequente di lasciarsi trascinare oltre il lecito dall'analogia.

Le anomalie dell'accelerazione possono esser calcolate a partir dal gradiente con l'approssimazione di qualche decimo di milligal dappoichè una unità Eötwos di errore sul gradiente medio tra due punti distanti un chilometro induce un errore di un decimo di milligal sull'anomalia calcolata dell'accelerazione. Indipendentemente da errori di osservazione i valori dell'anomalia dell'accelerazione possono esser falsati dalle influenze immediatamente subsuperficiali cui si è accennato: d'altra parte il procedimento è legato alle esigenze che il rilievo Eötwossiano ha nei riguardi della morfologia del terreno ed è di fatto applicabile in regioni prossimamente piane. Discende di qui la importanza dei gravimetri statici che con errori di osservazione dello stesso ordine (e al dire di qualche autore inferiore) di quelli dedotti dai dati Eötwossiani, e indipendentemente dal pericolo di influenze di masse subsuperficiali immediate permette di determinare le anomalie dell'accelerazione e applicare il metodo di indagine gravimetrica in più vasto campo di utilizzazione.

Allo stato attuale, pertanto, per poter utilizzare tutti i mezzi a disposizione, il compiuto rilievo gravimetrico di una regione si attua in tre stadi: un rilievo pendolare di alta precisione che, a guisa di una triangolazione di primo ordine dà punti di partenza e di controllo distribuiti su una rete a maglie larghe con lati lunghi molte diecine di km., frequentemente tra 50 e 100; un rilievo con gravimetro che raffittisce tale rete con punti tra loro prossimi, anche intorno ai 500 m. e accusa le perturbazioni del campo: un rilievo di dettaglio Eötwossiano limitato alle perturbazioni stesse e per una loro più minuta indagine.

Appare da quanto sopra siamo venuti esponendo che, in ogni modo, il procedimento di indagine è condizionato a preliminari indizi geologici. Ove il problema geologico sia posto in maniera sufficientemente precisa l'interpretazione può essere fatta abbastanza agevolmente, ove, invece, le incertezze dei geologi investano

la natura delle formazioni cui si è in presenza e il tipo di tettonica nascosta da indagarsi, l'arbitrarietà delle ipotesi che occorre fare sulle densità e le strutture rendono notevolmente più difficile il lavoro di interpretazione stessa. Sopra tutto non si può in tal caso troppo esigere dal metodo per quanto riguarda l'approssimazione dei risultati quantitativi come ad es. delle profondità. Il metodo è con tutto ciò, ripetiamo, di fondamentale importanza per mettere in luce disturbi tettonici la cui più minuta indagine può essere affidata al metodo sismico.

Le incertezze sulla posizione geologica dei problemi che la gravimetria deve indagare non mancano purtroppo nelle ricerche italiane: credo anzi si possa dire che queste si pongono in condizioni singolarmente difficoltose. Limitandoci ad es. alle questioni interessanti la Val Padana e la zona marginale pedemontana appenninica, che presentano notevoli e numerose manifestazioni petrolifere, si può osservare che l'assoluta ignoranza in cui siamo di quelli che siano i lineamenti fondamentali della tettonica subpadana in cui vengono a contatto, con tutta probabilità, elementi appenninici, dinarici, alpini, con rapporti reciproci intorno a cui non si ha alcuna notizia, non permette di illuminare le ragioni dei fatti profondi regionali e l'empiria dei procedimenti a posteriori per determinare le relative correzioni. Le anomalie messe in luce dai rilievi pendolari e particolarmente le loro rapide e importanti variazioni sembra d'altra parte testifichino di una entità di fatti regionali fuori dall'ordinario, dappoichè si arriva a variazioni dell'anomalia di Bouguer dell'ordine del centinaio di milligal per distanze che non superano i 40 km. tra punti della pianura. Manca pertanto il sussidio essenziale del filo conduttore fornito dai geologi nella posizione dei problemi generali: nè, di conseguenza, può esser compiuto il sussidio geologico per i problemi speciali e ciò tanto più per la presenza nel sottosuolo padano di facies litologiche che non trovano perfetto riscontro nei termini corrispondenti della serie stratigrafica a giorno sull'appennino. Si devono a ciò le difficoltà che si sono incontrate e che si incontrano nella interpretazione strutturale di rilievi sepolti di cui la indagine gravimetrica ha messo in luce la esistenza, confermata poi da sondaggi.

I numerosi sondaggi profondi compiuti dalla Azienda Generale Italiana Petroli cominciano tuttavia a fornire una serie di indicazioni utili ai Geologi, mentre la intensificazione del rilievo gravimetrico, specie in alcune zone, e una completa elaborazione delle misure permetterà comunque poter ottenere dal metodo quanto può dare pure in queste condizioni singolarmente difficili.

FRANCESCO VERCELLI
DIRETTORE DELL'ISTITUTO GEOFISICO DI TRIESTE

L'esplorazione geofisica dei campi petroliferi.

Riassunto. — *Viene presentata una sintetica esposizione sui metodi geofisici attualmente impiegati nell'esplorazione delle strutture del sottosuolo, in vista di ricerche petrolifere, con speciale riferimento all'organizzazione dominante negli Stati Uniti d'America, ove l'autore ebbe occasione di compiere una lunga missione, per incarico dell'AGIP. La Nota conclude con un certo ottimismo sulle possibilità di esito positivo delle ricerche in corso in Italia e nell'Africa Italiana.*

L'esplorazione del sottosuolo per ricerche minerarie, e in particolare per riconoscere possibili giacimenti petroliferi, costituisce oggi un campo di studio e di tecnica che interessa legioni di specialisti e di operatori in ogni parte del mondo. Trattati e riviste documentano lo sviluppo storico e i perfezionamenti dei metodi di esplorazione. Innumerevoli società private offrono la loro opera agli stati e agli enti che intendono scoprire e sfruttare le immense ricchezze ancora nascoste nelle viscere della terra. I risultati vantati dagli esecutori delle ricerche sono confermati dalle compagnie commerciali, che hanno promosso e pagato il lavoro. Tutto questo è storia recente, o in atto; vano sarebbe restringerla nei confini di un breve riassunto. Piuttosto interessa conoscere i più recenti perfezionamenti raggiunti in questo ordine di ricerche e i metodi che ormai tengono il predominio per la chiarezza e la precisione dei risultati che possono consentire.

Si tratta di metodi e di perfezionamenti sviluppati gradualmente nell'ultimo decennio nel continente nord-americano, ove l'immensità del territorio, la varietà delle strutture geologiche, la ricchezza dei campi petroliferi noti, la sicurezza di trovare campi e orizzonti fertili in nuove aree, e a profondità sempre maggiori, offrono un complesso di circostanze estremamente favorevoli alle esplorazioni. Con imponente potenza di mezzi, con spese che sommano annualmente a molte decine di milioni di dollari,

centinaia di squadre geofisiche operano negli U. S. A. scoprendo continuamente nuove ricchezze, che si aggiungono al patrimonio colossale di giacimenti che sono in corso di sfruttamento.

Alla mente illuminata di S. E. il Presidente dell'AGIP, Professor Puppini, io devo la fortuna di essere stato inviato negli U. S. A. per esaminare sul sito i progressi compiuti nei metodi geofisici di ricerca. Ho potuto visitare le più importanti società, esaminare i laboratori, osservare il lavoro delle squadre in campagna, discutere con dirigenti, specialisti e operatori, vedere i documenti delle osservazioni e dei controlli, fare sopraluoghi sui campi petroliferi vecchi e nuovi. L'eccezionale esperienza fatta nel corso di questa missione è destinata, in primo luogo, a dare nuove basi alle squadre organizzate dall'AGIP. Oggi il geofisico può dare al geologo elementi precisi, quali non erano possibili poco tempo addietro; la localizzazione di un sondaggio può essere stabilita con rigorosi criteri, entro perimetri ristrettissimi, fuori dei quali vano sarebbe tentare la ricerca di adunamenti petroliferi. Il Presidente dell'AGIP, dato il grande interesse attribuito alla iniziativa della R. Accademia delle Scienze di Torino, gentilmente consente che io possa riferire su questi argomenti notizie e dati che sono frutto della missione compiuta in America.

Dirò subito che la quasi totalità delle squadre geofisiche, comprese quelle che le grandi compagnie petrolifere stanno organizzando per proprio conto, operano ormai prevalentemente, se non esclusivamente, col metodo sismico; e si dà assoluta preminenza al procedimento per riflessione, riservando quello per rifrazione a casi limitati. La sismica per riflessione, in altre parole, è attualmente la via normale per investigare la morfologia degli strati profondi; gli altri metodi gravimetrici, magnetici, elettrici e così via, servono per ricognizioni preliminari, oppure come mezzi integrativi e complementari.

Il metodo sismico a riflessione poggia su concetti di chiara evidenza. I tremiti destati dall'esplosione di una piccola carica di dinamite, sepolta nel suolo, si propagano in ogni verso attorno al punto di scoppio. Le superficie di discontinuità fra strato e strato si comportano come specchi, riflettendo in alto una certa frazione dei raggi incidenti.

La riflessione si verifica normalmente quando lo strato infeferiore ha condizioni di elasticità e di densità tali da poter trasmettere le onde sismiche con velocità maggiore di quella propria dello strato sovrastante. Questa condizione manca in certi casi, per esempio sopra il massimo campo petrolifero del Texas,

East Texas Field, ove lo strato produttivo è una specie di gigantesco cuneo sabbioso incluso fra rocce calcaree terziarie. In questo caso, e in quelli analoghi, il metodo sismico non può dare alcuna indicazione, perchè i raggi sismici non ritornano alla superficie nè per riflessione, nè per rifrazione. Ma in generale le rocce sono stratificate con densità e moduli elastici crescenti verso il basso; e allora le riflessioni si svolgono regolarmente. Captando le onde riflesse, misurando i tempi di propagazione e i ritardi nei tempi di arrivo su ricevitori disposti in modo opportuno, si determina facilmente la profondità e la giacitura degli strati riflettenti. Con ripetute misure, in punti distinti, si riesce a rilevare la topografia degli strati profondi.

Ma per realizzare tale concetto si dovettero fare lunghe serie di esperienze, superare notevoli difficoltà strumentali, risolvere nuovi problemi. Per un decennio si è lavorato, facendo graduali progressi, e proteggendo ogni dispositivo con brevetti gelosamente difesi.

La perfezione raggiunta in tempi recentissimi spiega perchè il metodo sismico abbia oramai una supremazia incontrastata fra tutti i metodi geofisici, e abbia conquistato la fiducia degli industriali nella gara che tende alla scoperta e agli acquisti di nuovi campi petroliferi.

I rivelatori dei tremiti destati nel suolo sono piccoli sismografi di svariati tipi. In America si è data la preferenza ai tipi elettromagnetici, che ricordano il classico sismografo del Galitzin, usato nelle stazioni sismiche; essi misurano le velocità delle vibrazioni del suolo. Le correnti alterne destate nei sismografi sono amplificate e registrate mediante oscillografi e dispositivi fotografici.

I diagrammi di vecchio tipo avevano questi inconvenienti: inizialmente ampiezza eccessiva, per esuberante energia nell'impeto delle prime onde dirette; dopo breve intervallo deficiente energia, e quindi ampiezze troppo piccole e non utilizzabili per sicure interpretazioni. I grafici erano molto complessi, per sovrapposizione di onde dirette, rifratte, riflesse e di disturbi occasionali di varia natura. Pochi gruppi ondosi erano sicuramente suscettibili di interpretazione.

Gli studi di laboratorio e le prove di campagna hanno consentito di seguire nuovi orientamenti. Contrariamente ad ogni previsione, si constatò che le riflessioni sono sensibili già a breve distanza dal punto di scoppio, senza che occorra spostare i sismografi oltre la zona in cui cominciano le riflessioni totali. Ciò facilita l'osservazione e il calcolo, in quanto questo si riduce a valutare il cammino di raggi quasi verticali. Si è osservato inoltre che i

raggi riflessi con maggiore evidenza hanno frequenze comprese fra 30 e 60 hertz (oscillazioni per secondo); e venne così in luce il problema di selezionare tre o quattro gruppi di onde, aventi periodi compresi fra tali limiti, per ottenere onde riflesse pure, identiche per tutti i sismografi, non turbate dal groviglio di tutte le altre onde di diversa frequenza. Si è constatato che allacciando in serie due o più sismografi, distanziati di pochi metri, si rinforzano le onde riflesse che giungono pressochè in fase, mentre si estinguono i disturbi parassiti per azione di mutue interferenze.

La tecnica della radioonde guidò alla soluzione dei due problemi essenziali: 1) costruzione di filtri selettivi per onde di bassa frequenza, comprese in una gamma di circa 10 hertz; 2) modificazione dei sistemi di amplificazione delle correnti alterne dei sismografi, in guisa da ottenere un'amplificazione variabile con legge logaritmica, cioè con rapporti minimi all'inizio e rapporti rapidamente crescenti nel corso della registrazione.

Ogni società ha risolto questi problemi con dispositivi proprii, sui quali mantiene un rigoroso segreto. È l'unica cosa su cui nessuna indiscrezione è tollerata. Per tutto il resto, si tratti di strumenti o di metodi di lavoro, non esiste mistero.

Noi non abbiamo mai posto tali problemi e non saremmo quindi pronti per una soluzione immediata. Ma i nostri specialisti assicurano che non è difficile tentare soluzioni che si prospettano soddisfacenti. Ciò che in questa materia richiede lungo tempo è l'esperienza, tanto nelle prove di laboratorio, per giungere a definitivi modelli strumentali, quanto sul terreno della ricerca, per interpretare correttamente i dati di osservazione. Quest'esperienza costò in America anni di lavoro, di studi, di spese. Oggi si ottengono grafici con ampiezza uniforme in tutta la loro lunghezza; gruppi di onde riflesse, provenienti da strati via via più profondi, sono di estrema purezza ed evidenza. Le interpretazioni, controllate in aree ove la geologia è perfettamente nota, hanno potuto essere estese a regioni di ogni continente, con risultati pienamente confermati dai sondaggi.

Un minuto esame degli aspetti tecnici e teorici degli strumenti e dei metodi di impiego non avrebbe interesse diretto che per pochi specialisti geofisici. Può invece tornare utile a tutti un cenno sommario sull'organizzazione attuale delle squadre geofisiche, sul complesso strumentale impiegato, sulle direttive seguite nelle esplorazioni e soprattutto sulla natura dei risultati ora consentiti. È necessario che si diffonda la persuasione che la geofisica può dare indicazioni minute e sicure sulle forme strutturali

degli strati profondi; nessun pozzo nuovo dovrebbe essere tentato senza un preventivo studio che consenta l'ubicazione del sondaggio sulle sole strutture che possono dare risultati positivi. Abbiamo di fronte a noi problemi autarchici di gravità eccezionale e limitati mezzi di ricerca; questi mezzi devono essere utilizzati nel modo più razionale ed economico.

Organizzazione delle squadre sismiche. — Come tutta la vita americana, ogni squadra è totalmente motorizzata, per facilità di manovre e risparmio di tempo. Il tempo vale più del danaro. Il personale ha un certo numero di automobili a disposizione. Gli strumenti di osservazione, le macchine perforatrici dei fori di esplosione, gli esplosivi, le botti d'acqua e tutti gli accessori sono autocarrati. Agli ordini di un capo lavorano una quindicina di persone, suddivise in gruppi per i seguenti lavori: Rilievi preliminari, preparazione dei fori, esecuzione delle esplosioni, rilevamento dei grafici, interpretazione dei dati e deduzioni conclusive.

Si richiedono circa 8 fori di esplosione al giorno, profondi normalmente da 15 a 20 m, ed eccezionalmente anche oltre un centinaio di metri, se il terreno presenta potenti coltri di conglomerati. L'esplosione deve essere fatta sotto lo strato alterato dagli agenti meteorici, affinchè l'energia sia trasmessa senza soverchio assorbimento. I fori sono eseguiti con macchine a rotazione, impiantate su autocarri, utilizzando per l'energia motrice lo stesso motore del carro. In terreni teneri basta una macchina per squadra; in terreni duri e ghiaiosi occorrono anche più di due perforatrici.

Il gruppo degli osservatori giunge sul sito quando le operazioni preliminari di rilevamento e di segnalazione sul terreno sono compiute, e i fori di scoppio sono preparati. È impressionante vedere la rapidità delle manovre; pare di assistere ad esercitazioni di truppe motorizzate. Il carro degli strumenti cammina lungo l'allineamento, che porta segnate le postazioni dei sismografi; senza che la macchina si arresti, gli operatori balzano a terra, depongono un sismografo (o un gruppo di due o tre sismografi) e ne fanno l'allacciamento col cavo corrispondente, trainato dal carro, chiudendo così il circuito che dallo strumento va all'amplificatore, al filtro e all'oscillografo. L'operazione è ripetuta sino al compimento dello schieramento di tutti gli strumenti. Nel frattempo gli uomini addetti alle esplosioni infilano la dinamite nel pozzetto, spingendola con aste graduate di legno, sino alla profondità desiderata, riempiono il foro con acqua e attendono l'ordine telefonico di lanciare la corrente che provocherà l'esplosione. Dopo

pochi minuti dall'arrivo della squadra si ode il primo scoppio. La registrazione dura pochi secondi. Il foglio fotografico, che porta le impressioni destate dall'oscillografo (da 8 a 20 curve, una presso l'altra, corrispondenti a distinti sismografi, o gruppi di sismografi) è passato dal registratore ai rapidi bagni di sviluppo, fissaggio e lavaggio. Subito l'osservatore esamina se la chiarezza della registrazione sia soddisfacente, oppure se convenga ripetere la prova mutando la carica e la profondità dell'esplosivo. In ogni caso la prova è ripetuta una o due volte, per avere non dubbi elementi di calcolo.

Esaurite le osservazioni in un sito, si sposta il gruppo verso una nuova postazione, sempre con celeri manovre. Una giornata di lavoro offre una trentina di fogli di diagrammi, al cui studio è rivolta la quotidiana fatica dell'ufficio dei calcolatori.

Favorevoli condizioni topografiche e fitte reti stradali a maglie quadrate sono singolarmente propizie, nelle grandi pianure del centro e del sud, alla rapidità delle manovre.

Ma queste sono compiute anche in regioni impervie, in foreste ove si procede aprendo la via fra alti arbusti, in lagune e paludi ove le barche sostituiscono gli automezzi; e le operazioni sono allora necessariamente difficili e rallentate.

Equipaggiamento strumentale. — Abbandonate le perforazioni a mano, si usano perforatrici agili e autocarrate. L'acqua è portata da un'autobotte, che ha pure la capra occorrente per eventuale tubazione dei fori in terreni franosi.

I sismografi sono chiusi in casse metalliche a tenuta d'acqua e sono resistenti alle scosse del trasporto e a un rude maneggio. Sono pronti all'uso appena deposti sul terreno. Cavi distinti, o multipli, allacciano i sismografi al carro strumentale.

I cavi fanno capo agli amplificatori e ai filtri. Questi dispositivi formano, come si disse, la parte più delicata del gruppo registratore. La banda del filtro conveniente al terreno esplorato viene saggiata dal capo, fissata e sigillata perchè non sia più variata nel corso di un rilievo.

Gli oscillografi impiegati dalle diverse società per registrare le correnti sismografiche hanno analogia cogli oscillografi comunemente usati in Europa. Si stanno facendo prove per ridurre i singoli telai galvanometrici a minime dimensioni, e anche per collocare tutto un fascio di fili in unico campo magnetico.

Perfezionatissimo è il sistema di registrazione del tempo. Gli intervalli di tempo sono direttamente figurati, sui grafici, da linee

distanziate 1/100 di secondo; si può valutare quindi il millesimo di secondo. I diapason che regolano i segnali del tempo sono oggetto di severi controlli. Abbiamo visto una società che ha un impianto centrale, dal quale trasmette, via radio, o con filo, i segnali di un vibratore campione, in guisa tale che ogni squadra possa controllare gli eventuali scarti fra i proprii segnali e quelli dell'ufficio centrale.

INTERPRETAZIONE DEI DATI E METODI OPERATIVI. — Ogni diagramma reca le indicazioni occorrenti per il calcolo e il tracciamento dei profili. Il calcolo richiede opportune correzioni, che tengano in conto le ineguali altezze del terreno sul piano di riferimento, le mutevoli velocità di propagazione nello strato di alterazione meteorica rispetto alla media velocità degli strati sottostanti, e la profondità assegnata al punto di scoppio.

Il metodo a riflessione viene impiegato secondo diversi intendimenti, a cui corrispondono distinte disposizioni strumentali. Ma qualunque sia il procedimento prescelto, occorre una preventiva determinazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali lungo la verticale. Anche in questo le aree americane sono fortunate, perchè quasi sempre presentano già pozzi perforati. Basta allora calare nel pozzo, ai livelli voluti, un adatto sismografo, e misurare la velocità di onde generate con esplosioni superficiali. Se nota è la stratificazione nei dintorni del pozzo, si possono fare i rilievi con strumenti e scoppi in superficie, utilizzando le riflessioni. Dove non esistano pozzi, la velocità è stimata come nel metodo a rifrazione, oppure sulla base di una serie di riflessioni, supponendo piani gli strati riflettenti. L'errore che si commette non ha importanza, perchè, giustamente, si mira non tanto a precisare le profondità assolute, quanto la forma delle strutture profonde. E queste forme sono precisate essenzialmente sui ritardi relativi delle onde captate dai singoli sismografi.

Tre metodi sono in uso nella geosismica per riflessione:

1. *Dip method* (*metodo dell'inclinazione*). Facile è riconoscere l'obliquità degli strati riflettenti, anche se la velocità media di propagazione lungo la verticale è conosciuta con limitata approssimazione. Allineando i sismografi e il punto di scoppio in modo che questo sia al centro e i primi siano simmetricamente disposti ai due lati, il tempo di arrivo di onde riflesse è minore sul lato ove ascendono gli strati, maggiore sull'opposto pendio. I raggi sono quasi verticali, data la breve distanza fra sismografi e punto di esplosione (decine di metri) rispetto alla profondità degli strati (migliaia di metri); tale condizione semplifica ogni calcolo.

Non occorre che gli strati riflettenti, rilevati su verticali diverse, siano legati da forme continue. Si possono avere rotture e interruzioni. Col *dip method* si vuole semplicemente mettere in vista le linee dominanti nell'architettura degli strati, e soprattutto riconoscere se essi siano incurvati ad anticlinale, a sinclinale, o disposti con giaciture monoclinali, senza garantire se le linee strutturali siano formate di strati omogenei e continui. Mediante profili incrociati si rileva la completa planimetria delle superficie riflettenti, come richiede il geologo per un sicuro orientamento sulle possibilità petrolifere.

Le piccole anticlinali, sovrapposte ad altre strutture più gigantesche, anche se queste siano sinclinali, rappresentano le forme più idonee per adunamenti petroliferi; su di esse si concentra prevalentemente l'attenzione e la speranza dei geologi e delle aziende commerciali. Ho visitato nell'Oklahoma qualche sondaggio scavato sul culmine di una piccola anticlinale, scoperta col metodo sismico; la cupola è stimata alta una ventina di metri appena sull'orizzonte degli strati circostanti. Il petrolio sprizzava con violenza, mentre, a distanza minore di 100 m, si ergeva la desolata incastellatura di un pozzo secco, tentato inutilmente prima del rilievo geofisico.

2. *Correlation method* (*metodo di correlazione*). Nelle regioni ove i singoli strati sono continui e possono sicuramente essere riconoscibili in ampio raggio, si procede a un rilievo inteso a riconoscere non solo le forme, ma anche le profondità assolute. Si eseguiscono lunghissimi allineamenti, adottando distanze di centinaia di metri fra gli strumenti e fra questi e i punti di scoppio. Le velocità di propagazione lungo la verticale devono essere conosciute con molta precisione.

3. *Continual method* (*metodo continuo*). È usato per rilievi molto particolareggiati e per seguire la continuità degli strati dove le riflessioni sono meno evidenti. Le distanze fra gli strumenti e fra questi ed i punti di scoppio sono eguali, dell'ordine di decine di metri.

Siccome i ritardi nell'arrivo delle onde ai vari sismografi sono calcolati in millesimi di secondo, così occorre ripetere più volte ogni prova, per ottenere valori medi bene accertati.

L'impiego di uno od altro procedimento dipende dalle condizioni regionali. Se queste sono ignote, si procede con saggi preliminari per scegliere la via migliore.

Si danno casi in cui il metodo sismico non offre alcuna indicazione, come già si disse. Tipico esempio è offerto dal massimo campo

petrolifero del mondo, *East Texas Field*, ove lo strato produttivo è un potente cuneo di sabbia delimitato fra calcari cretacei; sulla sabbia cessano le riflessioni. Neppure si hanno buone riflessioni sulle cupole dei duomi di sale, perchè ivi gli strati sono spesso rotti e sconvolti; sui fianchi le riflessioni risultano invece pienamente regolari e significative.

COLLABORAZIONE COI GEOLOGI. — Poichè la geologia deve orientare il lavoro del geofisico e servire di guida per le interpretazioni, ogni squadra ha qualche tecnico dotato di sufficiente cultura geologica. Spesso sono geologi gli stessi dirigenti delle società di prospezione, o almeno i capi sono assistiti da specialisti geologi.

In America esiste il geologo-geofisico, persona che, senza avere cultura superiore, conosce quanto occorre nei due rami collaterali di scienza e contribuisce al massimo rendimento delle ricerche.

LABORATORI SPERIMENTALI E OFFICINE DI COSTRUZIONE. — Ogni squadra ha un laboratorio centrale, nel quale operano specialisti eminenti in tutte le discipline scientifiche e tecniche da cui dipende il buon funzionamento e il progresso delle ricerche. Nel laboratorio sono tarati gli strumenti, sono studiati apparecchi di nuovo tipo, vengono esaminate le condizioni migliori di lavoro, si fanno nuovi tentativi per il perfezionamento delle osservazioni e delle interpretazioni.

Ad esempio, poichè in ogni gruppo di onde riflesse si possono calcolare esattamente i ritardi con cui una data fase di onda si presenta in sismogrammi successivi, ma non si riconosce esattamente quale sia il punto iniziale delle singole riflessioni, così si stanno facendo prove di integrazione dei diagrammi, per calcolare le curve dell'energia e vedere se da queste l'arrivo dei treni d'onde riflesse appaia con discontinuità evidenti. Altri studi riguardano la periodicità propria dei sismografi, le amplificazioni dinamiche relative ai possibili rapporti fra periodi proprii e periodi dei tremiti del suolo, gli stadi e le modalità di amplificazione, la selettività dei filtri, e così via. Il laboratorio è un vero centro fisico, che dirige il lavoro di tutte le squadre della società.

Affiancato al laboratorio è l'officina che costruisce gli strumenti, allestisce gli autocarri e spesso congegna anche le macchine perforatrici e tutti i materiali occorrenti per il lavoro di campagna.

Si preferisce costruire che comprare gli strumenti e le relative installazioni sugli autocarri da campagna. Gli apparecchi costano

troppo e rapidamente invecchiano; essi sono oggetto di continue modificazioni, intese a migliorarne le caratteristiche e la facilità di impiego.

Costo delle squadre. — Dati gli alti salari in uso in America, tanto per i professionisti, quanto per operai qualificati e per semplici manovali, il costo delle squadre geofisiche risulta enormemente più elevato che in Europa. L'organizzazione è tale, però, che la rapidità del lavoro compensa la spesa. Le compagnie petrolifere pagano circa 7 mila dollari al mese, per ogni squadra in campagna; altri 3 mila dollari di spesa sono richiesti per gli esplosivi, i permessi, i danni, i trasferimenti e così via. Se teniamo conto del fatto che centinaia di squadre sono in lavoro continuo, subito appare quanto elevata sia la spesa globale per le ricerche.

Si noti che l'affannosa corsa per l'accaparramento di nuovi giacimenti è fatta per conquistare le possibilità del futuro, non per i bisogni presenti, perchè la produzione è esuberante rispetto al consumo, e l'estrazione del petrolio viene limitata, per accordi fra i produttori, a frazioni della potenzialità dei pozzi attivi. Nel Texas tale frazione è attualmente appena del 4 %. È dunque il futuro che interessa. E le prospettive sono rosee, perchè le aree produttive si dimostrano più estese di quanto si potesse sospettare, e gli orizzonti oleiferi si vanno sempre più moltiplicando in profondità. In California ho visto i pozzi di Wasco, produttivi a un livello di circa 4000 m. Nell'Illinois si è trovato un orizzonte oleifero a 4500 m. Mentre in Europa si discute se il rifornimento del petrolio sia assicurato per decine di anni, in America si ha la sicurezza di avere petrolio, nella misura attuale, per almeno duemila anni. Ciò spiega perchè in quel fortunato paese la macchina sia alla portata di tutti e il consumo della benzina sia favorito in ogni modo.

Altri metodi geofisici. — I metodi geoelettrici si rivelano efficaci in singoli casi, come nel riconoscimento di orizzonti petroliferi, quando questi siano attraversati senza che il petrolio venga in luce. Il fatto si è verificato nel primo pozzo di Wasco, presso Bakersfield, nella valle californiana di S. Joaquim. Il pozzo era stato scavato sino a 15.000 piedi di profondità. Dal carotaggio elettrico risultò uno strato di forte resistività elettrica a 13.100 piedi; a questo livello sgorgò poi il petrolio. Un nuovo pozzo risultò produttivo allo stesso livello. Un terzo pozzo era in avanzato progresso nello scorso mese di gennaio.

Poco uso è fatto dei metodi magnetici, date le particolarità geologiche delle regioni petrolifere americane.

Molti duomi salini furono scoperti colla bilancia di torsione. Tutta la Costa del Golfo è stata rilevata colla bilancia; il rilievo è esteso ad altre regioni. Ora si preferisce operare prima coi gravimetri, che consentono un celere lavoro. Dove maggiormente

Fig. 1. — Campo petrolifero di Long Beach presso Los Angeles (California) sulla riva dell'Oceano Pacifico.

interessi, si completa lo studio colla bilancia, perchè questa dà elementi complementari che un geologo specializzato può sfruttare convenientemente. Il rilievo gravimetrico, in ogni caso, è considerato come prima ricognizione; le aree che palesano strutture favorevoli vengono poi analizzate con la sismica a riflessione.

I dati dei rilievi gravimetrici sono costantemente corretti dell'effetto regionale, seguendo noti procedimenti. Le perforazioni esistenti in molte regioni offrono elementi geologici che consentono anche correzioni locali, in guisa da garantire sempre meglio le forme effettive delle strutture incognite.

Si usano gravimetri fabbricati da diversi laboratori, perfezionati costantemente sulla base dell'esperienza e dello studio.

Ho potuto visitare anche un magnifico laboratorio chimico, nel quale si compie l'analisi degli idrocarburi contenuti in saggi di terreno raccolti a profondità di circa 15 m. Si tratta di tentare un metodo chimico di indagine, basato sul presupposto che i terreni incombenti sopra giacimenti petroliferi possano avere un'imbibizione di idrocarburi notevolmente superiore a quella comune in terreni sovrastanti ad aree sterili. Una prova positiva in favore di tale presupposto si è avuta lungo un allineamento che attraversa il gigantesco East Texas Field. Si sta ora esaminando se il fatto sia generale e possa servire di guida per scoperte oleifere, nei siti ove gli altri metodi non possono dare sufficienti indicazioni.

Ricerche basate su altri metodi geofisici sono talora richieste dalle compagnie petrolifere. Pur dando il predominio ai metodi sismici, non si vuole trascurare nessuna indicazione che possa contribuire a convalidare le testimonianze già possedute. Il metodo sismico non dice se esista, o no, il petrolio; esso dà soltanto elementi fisici e stratigrafici, che servono per stabilire se le condizioni siano favorevoli per adunamenti petroliferi. Torna quindi utile ogni altra ricerca atta a fornire elementi complementari di giudizio, prima di affrontare le costose imprese delle perforazioni.

In complesso le spese di esplorazione sono ingentissime. E il rapporto fra spese per ricerche geologiche-geofisiche e spese per sonde esplorative risulta enormemente maggiore di quello che in altri paesi si ritiene normativo. Alla sonda spetta l'ultima parola; ma una sonda male collocata è denaro quasi sprecato. Occorre quindi un certo equilibrio tra le somme destinate ai due gruppi di esplorazioni.

Conclusioni. — Condizioni troppo diverse rispetto all'America ci sono offerte dal suolo nazionale e imperiale. Tuttavia il diretto contatto colla vita americana infonde una nota di ottimismo sulle possibilità di trovare sul nostro territorio giacimenti petroliferi di qualche importanza. Le nostre ricerche sono state contenute in limiti molto modesti e modesti sono pure i risultati. In America si fecero scoperte colossali, non per sola fortuna, ma per tenacia degli esploratori, molti dei quali fallirono, per cedere il campo ai più forti produttori e alle società sorrette da capitali smisurati. Nel Kansas si scavarono 470 pozzi secchi prima di trovarne uno produttivo. Nella fertile California, che ha tanta dovizia di petrolio, in questo ultimo quindicennio furono perforati migliaia di nuovi pozzi; ma 3200 di essi risultarono sterili. Oggi il numero dei pozzi secchi è relativamente minore, perchè

si ha il prezioso ausilio della geofisica, che in passato mancava, o era troppo limitato.

In America il petrolio si presenta in terreni di ogni epoca geologica, antica o recente; cessa la possibilità del petrolio solo quando si giunge sul basamento del granito. Alcuni specialisti americani esprimono ferma fiducia sulle possibilità di ritrovamenti in Italia, in Libia, in Somalia; ovunque siano strati sedimentari è possibile che esista petrolio.

Lungo e costoso è però il controllo. I metodi geofisici attuali offrono ai geologi elementi di essenziale importanza per la scelta e la limitazione delle aree su cui i sondaggi debbono essere ubicati. Solo ora, fra noi come in altre contrade, la prospezione del sottosuolo ha raggiunto la possibilità di fornire elementi minuti, precisi e sicuri, così da conferire veramente alle sonde esplorative il valore di prove razionali e definitive.

II Gruppo.

PROBLEMI TECNOLOGICI E MINERARI

REMO CONTINI

CAPO DEL SERVIZIO PERFORAZIONI DELL' A. G. I. P.

Mezzi di perforazione per ricerche petrolifere a profondità medie, grandi e grandissime.

RIASSUNTO. — *Si distinguono tre categorie di profondità dei pozzi di ricerca petrolifera: medie sino a m. 1000, grandi profondità da m. 1000-2000 e grandissime oltre i 3000 m.*

Due sono i sistemi adottati per la perforazione del sottosuolo: quello a percussione e quello a rotazione. Il primo è più lento ed è adatto solo per raggiungere medie profondità; il secondo è molto rapido e con esso si possono raggiungere profondità di oltre 4000 m.

Si espongono le caratteristiche di un impianto a rotazione (rotary) ed il principio su cui è basato il tipo che consente la regolazione automatica del peso sullo scalpello. Dopo aver messo in evidenza l'importanza della scelta dei profili di tubaggio si fa un breve cenno sulle operazioni di cementazione ed infine si riassumono le caratteristiche varie dei fanghi di circolazione adatti per la perforazione con «rotary».

Uno svolgimento razionale ed esauriente del tema avrebbe richiesto una trattazione di mole tale da non essere compatibile con le esigenze di una comunicazione. Ho dovuto, perciò, limitarmi ad un rapido cenno, preferendo di intrattenermi su quegli argomenti che maggiormente potevano interessare.

Questa premessa ha, quindi, lo scopo di giustificare le discontinuità della trattazione.

Le ricerche petrolifere si estendono a tutta la serie stratigrafica che va dal paleozoico al quaternario. Ne segue che le profondità da raggiungere per interessare le formazioni, presunte sedi di idrocarburi, sono molto variabili da regione a regione e dipendono da un vasto complesso di fattori geologici.

La prospezione geopetrolifera in una determinata regione permette di impostare il problema della ricerca, dal punto di vista tecnico-meccanico, dando le indicazioni di massima sulla profondità da raggiungere e, talora, anche sulla natura dei terreni da attraversare. Queste profondità possono essere suddivise in tre categorie e cioè: profondità medie dell'ordine di un migliaio di metri; grandi

profondità, da metri 1000 circa a metri 2000, e grandissime profondità oltre i 3000 metri, fino a quote che vengono di giorno in giorno approfondite e che oggi sono dell'ordine di 5000 metri.

Per quanto riguarda i sistemi di perforazione, accenneremo ai due fondamentali: quello a percussione e quello a rotazione.

Nel primo l'avanzamento è ottenuto a mezzo di un utensile, denominato scalpello, che, collegato ai meccanismi di superficie con cavo d'acciaio o con aste piene o tubolari, viene azionato da moto alternativo verticale mediante bilanciere. Naturalmente, l'effetto utile di penetrazione dello scalpello nel terreno avviene nella fase di caduta.

L'armatura del foro, costituita da una colonna di tubi in acciaio trafilati, deve seguire progressivamente l'avanzamento dello scalpello, mentre i detriti o vengono estratti con mezzi meccanici, nel caso della perforazione a secco, oppure convogliati alla superficie mediante l'uso di una corrente di fango, all'uopo provocato con l'azionamento di pompe.

Il sistema a percussione presenta caratteristiche di grande lentezza e la sua potenzialità è limitata a profondità di circa 1200 metri.

Il sistema a rotazione, noto con la denominazione di « Rotary », è basato sul principio del trapano, e cioè la perforazione del terreno avviene con la rotazione di un utensile tagliente, foggiato pressochè a coda di pesce, collegato ai macchinari di superficie mediante aste cave. Durante la rotazione dello scalpello ha luogo una corrente di fango, provocata da apposite pompe, che dall'estremità superiore delle aste giunge al fondo del foro per risalire poi alle spalle delle aste stesse sino alla superficie.

La corrente di fango ha il duplice scopo di asportare con continuità i detriti di perforazione, di intonacare le pareti del foro e di limitare, quindi, notevolmente i franamenti, consentendo, in tal modo, di eseguire l'armamento del foro a grandi intervalli di profondità.

Il « rotary » è caratterizzato dal vantaggio di presentare grande sicurezza di lavoro, dalla possibilità di conseguire una notevole velocità di avanzamento e di presentare, altresì, un'elevata potenzialità; caratteristiche queste che comportano un basso costo di perforazione e consentono di attuare tempestivamente uno specifico programma di ricerca in una determinata regione.

Per quanto riguarda l'esecuzione di sondaggi di media profondità, non vi sono difficoltà particolari da superare per attingere profondità sino a 1000 metri, per cui la scelta del mezzo di per-

forazione è esclusivamente affidata a criteri di economia che si identificano nel minimo costo unitario di metro perforato.

Il sistema a percussione si può dire che sia andato, ormai, in disuso nei Paesi dove l'industria petrolifera ha raggiunto un certo sviluppo ed il suo impiego è oggi limitato a quelle perforazioni di media profondità, dove motivi di ordine economico ed organizzativo non consigliano l'impiego del « rotary ».

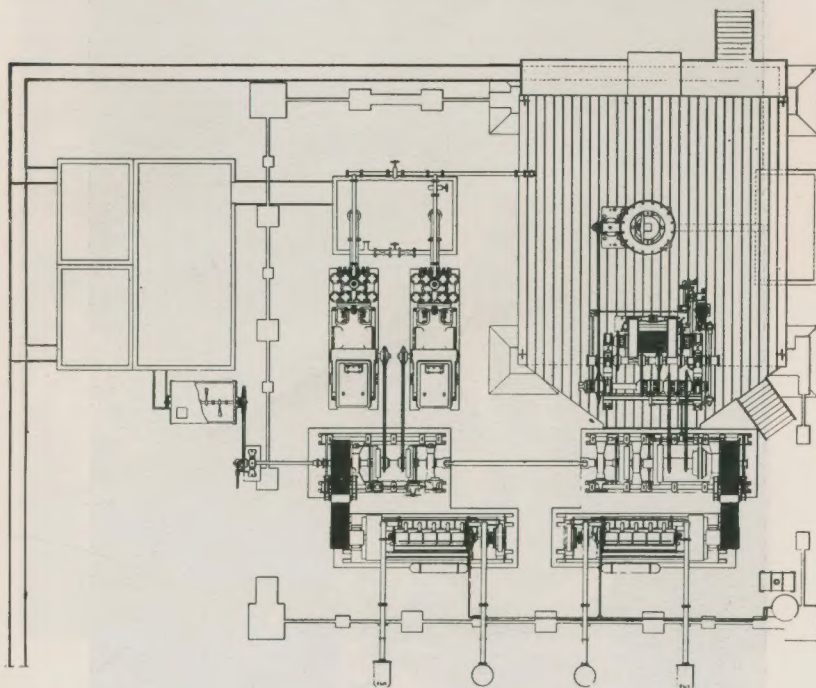



Fig. 1.

Abbiamo già accennato alla superiorità di quest'ultimo sistema, che consente rapidi avanzamenti giornalieri, di oltre 200 metri in terreni teneri, e permette di raggiungere profondità che solo pochi anni addietro sembravano irraggiungibili.

Rapido, infatti, è stato il progresso conseguito con questo sistema: a tutto il 1927 si raggiungevano i 2000 metri; nel 1931 si superavano i 3000; nel 1935 i 3500; oggi si arriva quasi ai 5000 metri di profondità.

Gli impianti « rotary » vengono progettati e costruiti per una determinata profondità alla quale, in particolare, è proporzionata la potenza motrice installata, la capacità di sollevamento dell'argano e quella di trazione della torre (v. fig. 1).